

Daniel Auerswald

**Vergleich der DIN 18800 und des Eurocode 3 anhand von  
ausgewählten Beispielen**

DIPLOMARBEIT

HOCHSCHULE MITTWEIDA

---

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Maschinenbau / Feinwerktechnik

Mittweida, 2009

## **Bibliographische Beschreibung**

Auerswald, Daniel:

Vergleich der DIN 18800 und des Eurocode 3 anhand von ausgewählten Beispielen – 2009. –  
132 S. Mittweida, Hochschule Mittweida, Fachbereich Maschinenbau / Feinwerktechnik,  
Diplomarbeit, 2009

## **Referat**

Das Zusammenwachsen der Länder zur Europäischen Gemeinschaft bedingt die Festsetzung einheitlicher Regeln für alle Bereiche des Bauwesens.

Aufgrund der bald in Kraft tretenden neuen Stahlbaunormung, welche die nationalen Bemessungsnormen am 31.03.2010 ablösen soll, werden in dieser Diplomarbeit Problemstellungen verschiedener Kategorien des Ingenieurhochbaus gegenübergestellt und durch detaillierte Berechnungen nach beiden Normen verglichen.

Die dabei erarbeiteten Berechnungsabläufe können für weitere Nachweise nach Eurocode 3 als Grundlage dienen.

## Einleitung

Im Zuge der Globalisierung nahm die Bedeutung eines gut funktionierenden Binnenmarktes der Mitgliedsstaaten der Europäischen Union zu. Um die Wettbewerbsfähigkeit der einzelnen Länder zu verbessern, wurden auf verschiedenen Gebieten einheitliche Regelwerke geschaffen. Diese sind eine gute Grundlage, dass an großen Projekten mehrerer europäischer Länder effektiv zusammen gearbeitet werden kann.

Seit über drei Jahrzehnten ist das EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG (CEN) damit beauftragt, ein einheitliches und bauartübergreifendes System von Regelungen zu schaffen.

Ein Teil des Normenwerkes für ganz Europa ist mit dem Eurocode 3 entstanden, der den Entwurf, die Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten regelt und seit einigen Jahren schrittweise eingeführt wird.

Damit werden die geltenden Europäischen Regelwerke vereinheitlicht und die Grundlage für eine enge Zusammenarbeit im Bausektor geschaffen. Eine Erweiterung der EU und die Flexibilisierung des europäischen Arbeitsmarktes haben die Wichtigkeit der eingeführten Regelungen nochmals bestätigt.

Für die Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten ist als aktuelle Norm die EN 1993-1-1:2005 (D) gültig, welche auch als Grundlage für die vorliegende Diplomarbeit verwendet wurde. Dieses Dokument ersetzt die ENV 1993-1-1.

Der Eurocode 3 soll in folgenden Ländern umgesetzt werden:

Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland,  
Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta,  
Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, Schweiz, Slowakei,  
Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Der Eurocode 3 unterstützt das Ziel der Europäischen Union, Handelshemmnisse zu beseitigen und leistet damit einen Beitrag zur Harmonisierung technischer Normen.

„Im Rahmen dieses Programms leitete die Kommission die Bearbeitung von harmonisierten technischen Regelwerken für die Tragwerksplanung von Bauwerken ein, die im ersten Schritt als Alternative zu den in den Mitgliedsländern geltenden Regeln dienen und sie schließlich ersetzen sollten.

15 Jahre lang leitete die Kommission mit Hilfe eines Steuerkomitees mit Repräsentanten der Mitgliedsländer die Entwicklung des Eurocode-Programms, das zu der ersten Eurocode-Generation in den 80.er Jahren führte.

Im Jahre 1989 entschieden sich die Kommission und die Mitgliedsländer der Europäischen Union und der EFTA, die Entwicklung und Veröffentlichung der Eurocodes über eine Reihe von Mandaten an CEN zu übertragen, damit diese den Status von Europäischen Normen (EN) erhielten. Grundlage war eine Vereinbarung<sup>1)</sup> zwischen der Kommission und CEN. Dieser Schritt verknüpft die Eurocodes de facto mit den Regelungen der Ratsrichtlinien und Kommissionsentscheidungen, die die Europäischen Normen behandeln (z. B. die Ratsrichtlinie 89/106/EWG zu Bauprodukten, die Bauproduktenrichtlinie, die Ratsrichtlinien 93/37/EWG, 92/50/EWG und 89/440/EWG zur Vergabe öffentlicher Aufträge und Dienstleistungen und die entsprechenden EFTA-Richtlinien, die zur Einrichtung des Binnenmarktes eingeleitet wurden).

Das Eurocode-Programm umfasst die folgenden Normen, die in der Regel aus mehreren Teilen bestehen:

EN 1990, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*;

EN 1991, *Eurocode 1: Einwirkung auf Tragwerke*;

EN 1992, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbetonbauten*;

EN 1993, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*;

EN 1994, *Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Stahl-Beton-Verbundbauten*;

EN 1995, *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten*; EN 1996, *Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten*;

EN 1997, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik*;

EN 1998, *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben*;

EN 1999, *Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumkonstruktionen*.

Die Europäischen Normen berücksichtigen die Verantwortlichkeit der Bauaufsichtsorgane in den Mitgliedsländern und haben deren Recht zur nationalen Festlegung sicherheitsbezogener Werte berücksichtigt, so dass diese Werte von Land zu Land unterschiedlich bleiben können.“

Auszug aus der EN 1993-1-1:2005 (D)

Der Eurocode ist die Grundlage für die Spezifizierung von Verträgen für die Ausführung von Bauwerken und dazu erforderlichen Ingenieurleistungen.

Der Gültigkeitsbereich umfasst Regelungen für den Entwurf, die Berechnung und Bemessung von kompletten Tragwerken und Baukomponenten, die sich für die tägliche Anwendung eignen. Sie gehen auf traditionelle Bauweisen und Aspekte innovativer Anwendungen ein, liefern aber keine vollständigen Regelungen für ungewöhnliche Baulösungen und Entwurfsbedingungen, wofür Spezialistenbeiträge erforderlich sein können.

## **Inhalt und Zielsetzung der Diplomarbeit**

In dieser Diplomarbeit werden die verschiedenen Berechnungsansätze der jetzt schon gültigen und bald alleinig geltenden EN 1993-1-1:2005 (D) gegenüber der noch gültigen deutschen Stahlbaunorm DIN 18800 (11.90) gegenübergestellt und durch detaillierte Berechnungen verglichen.

Ausgehend von detaillierten Berechnungen verschiedener Probleme im Stahlbau sollen die Neuerungen und unterschiedlichen Berechnungsverfahren des Eurocode 3 gegenüber der DIN 18800 aufgezeigt werden. Dabei soll auch die Ausnutzung der Bemessungsregeln untersucht werden.

Es wurde dabei wie folgt vorgegangen:

Auswahl der zu behandelnden Problematik

Gegenüberstellung ausgewählter Unterschiede

Aufstellen von Nachweisschemen zur Berechnung nach Eurocode 3

Berechnung der ausgewählten Beispiele

- nach DIN 18800 (11.90)

- und nach EN 1993-1-1 (D)

Auswertung der Berechnungen

# Inhaltsverzeichnis

0	Einleitung	3-4
	Inhalt und Zielsetzung der Diplomarbeit	5
	Inhaltsverzeichnis	6-9
	Abbildungsverzeichnis	10
<b>1</b>	<b>Bemessung geschraubter Verbindungen mit Beanspruchung rechtwinklig zur Schaftrichtung</b>	
1.1	Einleitung	11
1.2	Ausgewählte Unterschiede zwischen DIN 18800 und Eurocode 3	12-15
1.3	Bestimmung der Nettofläche	16
1.4	Nachweisschema für Schraubenverbindungen mit Längs- oder Querkraften nach EC 3	17
1.5	Nachweisschema auf Abscheren der Schraube nach EC 3	18
1.6	Nachweisschema auf Lochleibung nach EC3	19
<b>1.7</b>	<b>Beispiel 1 – Bemessung eines geschraubten Laschenstoßes</b>	
1.7.1	Problemstellung:	20
1.7.2	Bemessung nach DIN 18800 (11.90)	21
1.7.2.1	Konstruktive Überprüfung des Anschlusses	21
1.7.2.2	Grenzabscherkraft nach DIN 188001	22
1.7.2.3	Grenzlochleibungskräfte nach DIN 18800	22-23
1.7.2.4	Aufnehmbare Kraft der Schrauben	24
1.7.2.5	Aufnehmbare Kraft des Zugstabes	24
1.7.3	Bemessung nach Eurocode 3	25
1.7.3.1	Konstruktive Überprüfung des Anschlusses	25
1.7.3.2	Grenzabscherkraft nach EC 3	26
1.7.3.3	Grenzlochleibungskraft nach EC 3	27
1.7.3.4	Aufnehmbare Kraft der Schrauben	28
1.7.3.5	Aufnehmbare Kraft des Zugstabes	29
1.7.4	Auswertung (Beispiel 1)	30-31
<b>1.8</b>	<b>Beispiel 2 – Nachweis eines geschraubten Trägeranschlusses</b>	
1.8.1	Problemstellung	32
1.8.2	Nachweis nach DIN 18800 (11.90)	33
1.8.2.1	Konstruktive Überprüfung des Anschlusses	33
1.8.2.2	Nachweis der Grenzabscherkraft nach DIN 18800	34
1.8.2.3	Nachweis der Grenzlochleibungskräfte nach DIN 18800	34-35
1.8.2.4	Maßgebende Nachweise	35
1.8.3	Nachweis nach Eurocode 3	
1.8.3.1	Konstruktive Überprüfung des Anschlusses	36-37
1.8.3.2	Nachweis der Grenzabscherkraft	37-39
1.8.3.3	Nachweis der Grenzlochleibungskräfte nach DIN 18800	39-41
1.8.3.4	Maßgebende Nachweise	41
1.8.4	Auswertung (Beispiel 2)	42

<b>2</b>	<b>Bemessung und Nachweis ausgewählter geschweißter Verbindungen</b>	
2.1	Einleitung	43
2.2	Ausgewählte Unterschiede zwischen DIN 18800 und Eurocode 3	44-45
2.3	Nachweisschemen	
2.3.1	Nachweisschema geschweißter Kehlnahtverbindungen nach EC 3 - Richtungsbezogenes Verfahren	46
2.3.2	Nachweisschema geschweißter Kehlnahtverbindungen nach EC 3 - Vereinfachtes Verfahren	47
2.3.3	Spannungs- und Belastungsbilder zum Kehlnahtnachweis	48-49
<b>2.4</b>	<b>Beispiel 3 – Nachweis eines geschweißten Stabanschlusses</b>	
2.4.1	Problemstellung	50
2.4.2	Nachweis nach DIN 18800(11.90)	51
2.4.2.1	Nachweis des Zugstabes	51
2.4.2.2	Nachweis der Flankenkehlnähte	51-52
2.4.2.3	Nachweis des Knotenbleches	52
2.4.2.4	Nachweis Schweißnaht – Stütze	53
2.4.3	Nachweis nach Eurocode 3 (EN 1993-1-8:2005 (D))	54
2.4.3.1	Aufnehmbare Kraft des Zugstabes	54
2.4.3.2	Nachweis der Flankenkehlnähte des U140	55
2.4.3.3	Nachweis nach dem Richtungsbezogen Verfahren	55
2.4.3.4	Nachweis nach dem Vereinfachten Verfahre	56
2.4.3.5	Aufnehmbare Kraft des Knotenblechs	57
2.4.3.6	Nachweis der Kehlnaht Stütze – Knotenblech Richtungsbezogenes Verfahren	58-59
2.4.3.7	Nachweis der Kehlnaht Stütze - Knotenblech (Vereinfachtes Verfahren)	59-60
2.4.4	Auswertung (Beispiel 3)	60
<b>2.5</b>	<b>Beispiel 4 – Nachweis eines geschweißten Trägeranschlusses</b>	
2.6.1	Problemstellung	61
2.6.2	Nachweis nach DIN 18800 (11.90)	62
2.6.2.1	Vereinfachte Nachweismöglichkeit	62
2.6.2.2	Nachweis mit vereinfachter Schnittgrößenverteilung	63
2.6.2.3	Genauer Nachweis der Schweißnähte	64-65
2.6.3	Nachweis nach Eurocode 3	66
2.6.3.1	Querschnittswerte der Schweißnaht	67
2.6.3.2	Spannungen des Anschlusses	67
2.6.3.3	Nachweis der Flankenkehlnähte des IPE 400	68
2.6.3.4	Nachweis nach dem Richtungsbezogenen Verfahren	68-69
2.6.3.5	Nachweis nach dem Vereinfachtes Verfahren	70-71
2.6.4	Auswertung (Beispiel 4)	72

<b>3</b>	<b>Bemessung biegebeanspruchter Träger</b>	
3.1	Einleitung	73
3.2	Ausgewählte Unterschiede zwischen DIN 18800 und Eurocode 3	74-75
3.3	Klassifizierung von Querschnitten nach DIN EN 1993-1-1, 5.5	76
3.4	Nachweisschema nach EN 1993-1-1:2005 (D)	77
<b>3.5</b>	<b>Beispiel 5 – Bemessung eines Unterzuges</b>	78
3.5.1	Problemstellung und Schnittgrößen	78
3.5.2	Bemessung nach DIN 18800 (11.90)	79
3.5.2.1	Bemessung und Spannungsnachweis	79-80
3.5.2.2	Überprüfung der $b/t$ – Verhältnisse	80-81
3.5.3	Bemessung nach Eurocode 3 (EN 1993-1-1:2005 (D))	82
3.5.3.1	Bemessung des Profils	82
3.5.3.2	Querschnittsklassifizierung	83
3.5.3.3	Nachweis für einachsige Biegung und Querkraft	83-84
3.5.4	Auswertung (Beispiel 5)	85
<b>3.6</b>	<b>Beispiel 6 – Geschweißter Träger unter Einzellast</b>	
3.6.1	Problemstellung und Schnittgrößen	86
3.6.2	Nachweis nach DIN 18800 (11.90)	87
3.6.2.1	Querschnittswerte und Spannungsnachweis	87-88
3.6.2.2	Überprüfung der $b/t$ - Verhältnisse	88-89
3.6.3	Nachweis nach Eurocode 3 (EN 1993-1-1:2005 (D))	90
3.6.3.1	Querschnittswerte	90
3.6.3.2	Querschnittsklassifizierung	91
3.6.3.3	Nachweis für einachsige Biegung und Querkraft	91-92
3.6.4	Auswertung (Beispiel 6)	93
<b>3.7</b>	<b>Beispiel 7 – Trägernachweis</b>	
3.7.1	Problemstellung und Schnittgrößen	94
3.7.2	Nachweis nach DIN 18800 (11.90)	95
3.7.2.1	Querschnittswerte und Spannungsnachweis	95-96
3.7.2.3	Überprüfung der $b/t$ - Verhältnisse	97
3.7.3	Nachweis nach Eurocode 3 (EN 1993-1-1:2005 (D))	98
3.7.3.1	Querschnittswerte	98
3.7.3.2	Querschnittsklassifizierung	99
3.7.3.3	Nachweis für einachsige Biegung und Querkraft	100-102
3.7.4	Auswertung (Beispiel 7)	103
<b>3.8</b>	<b>Beispiel 8 – Gewalzter Träger unter Linienlast</b>	
3.8.1	Problemstellung und Schnittgrößen	104
3.8.2	Nachweis nach DIN 18800 (11.90)	105
3.8.2.1	Querschnittswerte und Spannungsnachweis	105-106
3.8.2.3	Überprüfung der $b/t$ - Verhältnisse	106-107
3.8.3	Nachweis nach Eurocode 3 (EN 1993-1-1:2005 (D))	108
3.8.3.1	Querschnittswerte	108
3.8.3.2	Querschnittsklassifizierung	108-109
3.8.3.3	Nachweis für einachsige Biegung und Querkraft	109
3.8.4	Auswertung (Beispiel 8)	110



<b>4</b>	<b>Auf Biegung und Druck beanspruchte gleichförmige Bauteile</b>	
4.1	Einleitung	111
4.2	Ausgewählte Unterschiede zwischen DIN 18800 und Eurocode 3	112
<b>4.3</b>	<b>Beispiel 9 – Stütze unter Normalkraft und Biegung</b>	<b>113</b>
4.3.1	Problemstellung und Schnittgrößen	113
4.3.2	Nachweis nach DIN 18800 (11.90)	114
4.3.2.1	Querschnittswerte und Spannungsnachweis	114-115
4.3.2.2	Überprüfung der $\frac{b}{t}$ – Verhältnisse	115-116
4.3.2.3	Biegeknicknachweis unter Normalkraft und Biegemoment	117
4.3.2.4	Biegedrillknicknachweis - Normalkraft und Biegemoment	118-119
4.3.3	Nachweis nach Eurocode 3	120
4.3.3.1	Querschnittswerte	120
4.3.3.2	Querschnittsklassifizierung	121
4.3.3.3	Tragfähigkeitsnachweis für Normalkraft	121
4.3.3.4	Nachweis für einachsige Biegung und Normalkraft	122
4.3.3.5	Tragfähigkeitsnachweis Querkraftbeanspruchung	123
4.3.3.6	Nachweis unter Normalkraft und Biegemoment	124
4.3.3.7	Nachweis gegen Biegeknicken	124-125
4.3.3.8	Nachweis gegen Biegedrillknicken:	126-128
4.3.4	Auswertung (Beispiel 9)	129
	Zusammenfassung	130
	Literaturverzeichnis	131
	Selbstständigkeitserklärung	132

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	lange Anschlüsse	12
Abbildung 2	kritische Risslinien	15
Abbildung 3	Länge p bei Winkeln mit Löchern in beiden Seiten	15
Abbildung 4	Laschenstoß	19
Abbildung 5	Laschenstoß	24
Abbildung 6	lange Anschlüsse	25
Abbildung 7	Trägerstoß	31
Abbildung 8	Trägerstoß	35
Abbildung 9	lange Anschlüsse	36
Abbildung 10	Korrelationsbeiwert aus EN 1993-1-8:2005 (D) Tab. 4.1	44
Abbildung 11	Kehlnahtarten	44
Abbildung 12	Spannungsbild Kehlnaht nach DI 18800	47
Abbildung 13	Kehlnahtdicke nach DI 18800	47
Abbildung 14	Kehlnahtspannungen nach Eurocode 3	48
Abbildung 15	Kehlnahtkräfte nach Eurocode 3	48
Abbildung 16	Kräfteaufteilung eines geschweißten biegesteifen Anschlusses	48
Abbildung 17	geschweißter Stabanschluss	49, 51, 53 und 56
Abbildung 18	geschweißter Trägerstoß	60 und 65
Abbildung 19	Spannungen	63 und 66
Abbildung 20	wirksame Schubfläche	74
Abbildung 21	Rotations- Momentenverlauf und Grenzspannungsverteilung	75
Abbildung 22	Trägersystem mit Schnittkräften	77
Abbildung 23	Schnittkräfte	81
Abbildung 24	Trägersystem mit Schnittkräften	85
Abbildung 25	Schnittkräfte	89
Abbildung 26	Trägersystem mit Schnittkräften	93
Abbildung 27	Schweißprofil ½ IPE mit eingeschweißtem Steg	94
Abbildung 28	Schnittkräfte	97
Abbildung 29	Trägersystem mit Schnittkräften	103
Abbildung 30	Schnittkräfte	107
Abbildung 31:	Stützensystem mit Schnittkräften	112
Abbildung 32:	Schnittkräfte	119

# **1 Bemessung geschraubter Verbindungen mit Beanspruchung rechtwinklig zur Schaftrichtung**

## **1.1 Einleitung**

In diesem Fall wird versucht die verschiedenen Bemessungsverfahren der DIN 18800 und des Eurocode 3 (EN 1993-1-1:2005 (D)) anhand eines geschraubten Laschenstoßes und eines geschraubten Trägeranschlusses gegenüber zu stellen und zu vergleichen.

Verbindungen mit Langlöchern werden dabei nicht berücksichtigt; sie können aber nach EN 1993-1-8:2005 (D) bemessen werden.

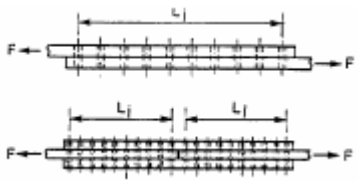
Die verschiedenen Ausführungsformen von Schraubenverbindungen sind in DIN 18800 T.1 Tabelle 6 zu finden.

Nach Eurocode werden die Schraubenverbindungen in Kategorie A bis E unterteilt, welche in EN 1993-1-8:2005 (D) Tabelle 3.2 zu finden sind.

Alle Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben müssen in der Regel die Anforderungen der DIN 18800-7:2002-09 und im Eurocode 3 die der Bezugsnormengruppe 4 Abschnitt 1.2.4 der EN 1993-1-8:2005 (D) erfüllen.

## 1.2 Ausgewählte Unterschiede zwischen DIN 18800 und Eurocode 3

		DIN (SL - Verbindung)	EC 3 (Kategorie A)
Schraubendurchmesser		$d_{Sch}$	$d$
Lochdurchmesser		$d_L$	$d_0$
Randabstand in Kraftrichtung	Minimum	$e_1 = 1,2 \cdot d_L$	$e_1 = 1,2 \cdot d_0$
	Maximum	$e_1 = \min[3 \cdot d_L; 6 \cdot t]$	$e_1 = 4 \cdot t + 40\text{mm}$
Lochabstand in Kraftrichtung	Minimum	$e = 2,2 \cdot d_L$	$p_1 = 2,2 \cdot d_0$
	Maximum	$e = \min[6 \cdot d_L; 12 \cdot t]$	$p_1 = \min[14 \cdot t; 200\text{mm}]$
Randabstand $\perp$ zur Kraftrichtung	Minimum	$e_2 = 1,2 \cdot d_L$	$e_2 = 1,2 \cdot d_0$
	Maximum	$e_2 = \min[3 \cdot d_L; 6 \cdot t]$	$e_2 = 4 \cdot t + 40\text{mm}$
Lochabstand $\perp$ zur Kraftrichtung	Minimum	$e_3 = 2,4 \cdot d_L$	$p_2 = 2,4 \cdot d_0$
	Maximum	$e_3 = \min[6 \cdot d_L; 12 \cdot t]$	$p_2 = \min[14 \cdot t; 200\text{mm}]$
Brutto- Querschnittsfläche einer Schraube (Schaft)		$A_{Sch}$	$A$
Spannungsquerschnittsfläche einer Schraube		$A_{Sp}$	$A_s$
<p>Nennlochspiel (für Verbindungen mit einem größeren Lochspiel ist eine bauaufsichtliche Zulassung nötig )</p>		$0,3 < \Delta d \leq 2,0$  (mit $\Delta d = d_L - d_{Sch}$ )	<p>Schrauben M12 und M14:  <math>\Delta d \leq 1\text{mm}</math>  ( <math>\Delta d \leq 2\text{mm}</math> ,  wenn: <math>F_{v,Rd} &gt; F_{b,Rd}</math>  und zusätzlich für:  4.8, 5.8, 6.8, 8.8 und 10.9  <math>F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M,2}} \cdot 0,85</math> )</p> <p>Schrauben M16 bis M24:  <math>\Delta d \leq 2\text{mm}</math></p> <p>Schrauben <math>\geq</math> M27:  <math>\Delta d \leq 3\text{mm}</math>  (mit <math>\Delta d = d_0 - d</math> )</p>

Abscherbeiwert $\alpha$	$\alpha_a$ $\alpha_a = 0,6$ (für 4.6; 5.6; 8.8) $\alpha_a = 0,55$ (für 10.9)	$\alpha_v$ Schaft in der Scherfuge: $\alpha_v = 0,6$ Gewinde in der Scherfuge: $\alpha_v = 0,6$ (für 4.6; 5.6; 8.8) $\alpha_v = 0,5$ (für 4.8; 5.8; 6.8; 10.9)
Streckgrenze der Schrauben	$f_{y,b,k}$	$f_{yb}$
Zugfestigkeit der Schrauben	$f_{u,b,k}$	$f_{ub}$
Streckgrenze Grundwerkstoff	$f_y$	$f_y$
Zugfestigkeit Grundwerkstoff	$f_u$	$f_u$
Anzahl der Scherflächen	$m$	$n$
Teilsicherheitsbeiwert	$\gamma_M = 1,1$ bei einschnittig ungestützten Verbindungen $\gamma_M = 1,25$	$\gamma_{M,2} = 1,25$
Grenzabscherkraft	$V_{a,R,d} = A \cdot \alpha_a \cdot m \cdot \frac{f_{u,b,k}}{\gamma_M}$	$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M,2}}$
Begrenzung der Grenzabscherkraft für lange Anschlüsse	- bei unmittelbaren Laschen- und Stabanschlüssen höchstens 8 Schrauben in Kraftrichtung - bei kontinuierlicher Krafteinleitung keine Begrenzung	$L_j \leq 15 \cdot d$ sonst $F_{v,Rd}$ mit $\beta_{Lf}$ abmindern: $0,75 \leq \beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15 \cdot d}{200 \cdot d} \leq 1,0$  Abbildung 1: lange Anschlüsse
Grenzlochleibungskraft	$V_{l,R,d} = t \cdot d_{Sch} \cdot \alpha_1 \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_M}$ (darf innerhalb eines Anschlusses addiert werden, wenn Grenzabscherkraft $V_{a,R,d}$ je Schraube eingehalten)	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$ (darf innerhalb eines Anschlusses addiert werden, wenn Grenzabscherkraft $F_{v,Rd}$ je Schraube eingehalten)

<p>Beiwert <math>\alpha</math> in Krafrichtung (zur Bestimmung der Grenzlochleibung)</p>	<p><math>\alpha_1</math></p> <p>für <math>e_2 \geq 1,5 \cdot d_L</math> und <math>e_3 \geq 3,0 \cdot d_L</math> Randabstand maßgebend</p> $\alpha_1 = 1,1 \cdot \frac{e_1}{d_L} - 0,30$ <p>Lochabstand maßgebend</p> $\alpha_1 = 1,08 \cdot \frac{e}{d_L} - 0,77 \leq 3,0$ <p>für <math>e_2 = 1,2 \cdot d_L</math> und <math>e_3 = 2,4 \cdot d_L</math> Randabstand maßgebend</p> $\alpha_1 = 0,73 \cdot \frac{e_1}{d_L} - 0,20$ <p>Lochabstand maßgebend</p> $\alpha_1 = 0,72 \cdot \frac{e}{d_L} - 0,51 \leq 2,0$	<p><math>\alpha_b</math></p> <p><math>\alpha_b = \min \alpha_d</math> am Rand liegende Schrauben</p> $\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0}$ <p>innen liegende Schrauben</p> $\alpha_d = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}$ <p>sonstige Begrenzung</p> $\alpha_d = \frac{f_{ub}}{f_u}$ $\alpha_d = 1,0$
<p>Beiwert <math>k_1</math> quer zur Krafrichtung (zur Bestimmung der Grenzlochleibung)</p>	<p>Die Abstände quer zur Krafrichtung werden in DIN 18800 im Beiwert <math>\alpha_1</math> berücksichtigt</p>	<p><math>k_1</math></p> <p>am Rand liegende Schrauben</p> $k_1 = \min \left  \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right $ <p>innen liegende Schrauben</p> $k_1 = \min \left  \begin{array}{l} 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right $
<p>Gebrauchstauglichkeit</p>	<p>ist nach DIN 18800 T. 1 (812) nur für gleitfeste, planmäßig vorgespannte Verbindungen (GV, GVP) erforderlich</p>	<p>ist nur bei Scherverbindungen der Kategorien B und C erforderlich</p>

<p>Nachweis des Grundwerkstoffes (auf Zug beansprucht)</p>	$\frac{\sigma}{\sigma_{Rd}} \leq 1,0$ <p>wenn</p> $\frac{A_{Brutto}}{A_{Netto}} \leq 1,2 \text{ (für S235)}$ <p>oder</p> $\frac{A_{Brutto}}{A_{Netto}} \leq 1,1 \text{ (für S355)}$ <p>sonst</p> $\frac{\sigma_{Netto}}{\sigma_{Rd}} \leq 1,0$ <p>für andere Stähle</p> $\frac{\sigma_{Netto}}{\sigma_{Rd}} \leq 1,0$ <p>mit <math>\sigma_{Rd} = \frac{f_{u,k}}{1,25 \cdot \gamma_M}</math></p>	$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$ <p>mit</p> $N_{t,Rd} = \min \left  \begin{array}{l} N_{pl,Rd} \\ N_{u,Rd} \end{array} \right $ <p>Bruttoquerschnitt</p> $N_{pl,Rd} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$ <p>längs der kritischen Risslinie (mit Nettoquerschnitt)</p> $N_{u,Rd} = 0,9 \cdot A_{net} \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$
--	---	--

### 1.3 Bestimmung der Nettofläche nach DIN EN 1993-1-1, 6.2.2.2

- Die Nettoquerschnittsfläche ist in der Regel der Abzug aller Löcher und anderer Öffnungen aus der Bruttoquerschnittsfläche.
- Bei Bestimmung der kritischen Lochabzugsfläche sind gegebenenfalls mehrere Risslinien zu untersuchen.
- Es ist in der Regel der Größtwert anzunehmen.

Risslinie 1:  $\Delta A = n_1 \cdot t \cdot d_0$

(rot)

Risslinie 2:  $\Delta A = t \cdot \left( n_2 \cdot d_0 - \sum \frac{s^2}{4 \cdot p} \right)$

(blau)

s der Abstand der Lochachsen in Bauteilrichtung

p der Abstand der Lochachsen senkrecht zur Bauteilachse

t die Blechdicke

$n_1$  die Anzahl der Löcher längs der roten Risslinie

$n_2$  die Anzahl der Löcher längs einer Diagonalen oder Zickzacklinie (kritische Risslinie) des Querschnittsteils

$d_0$  der Lochdurchmesser.

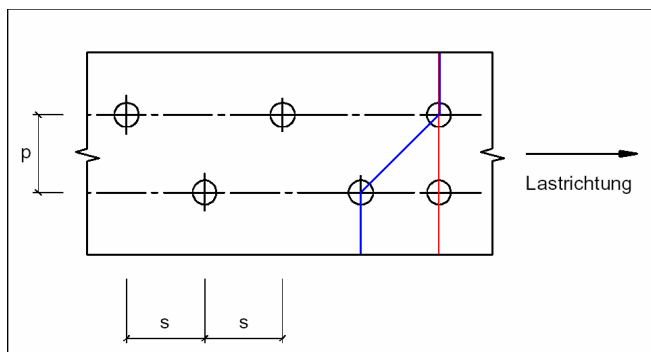


Abbildung 2: kritische Risslinien

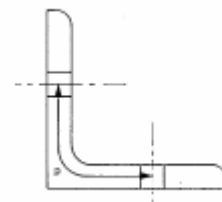
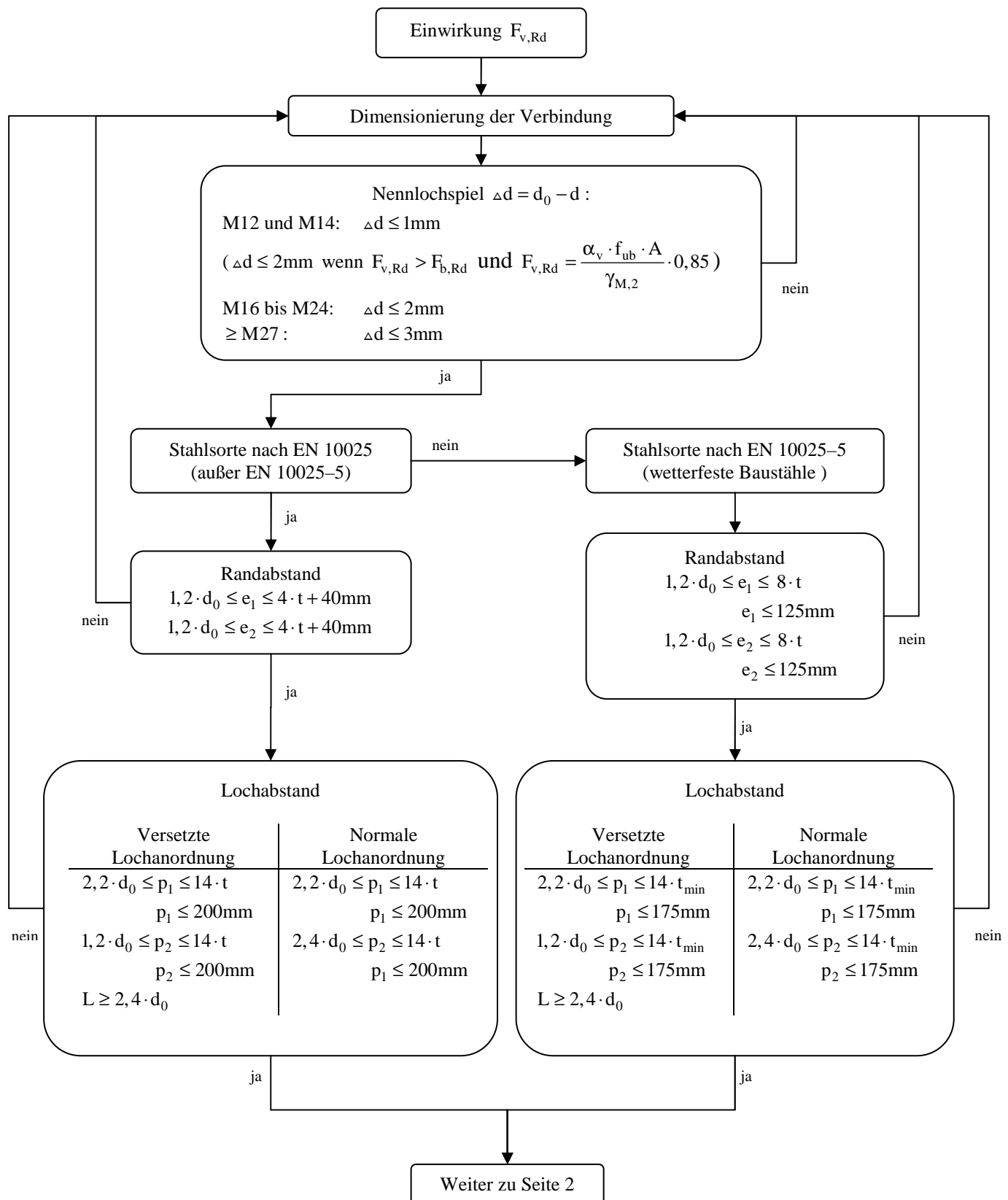


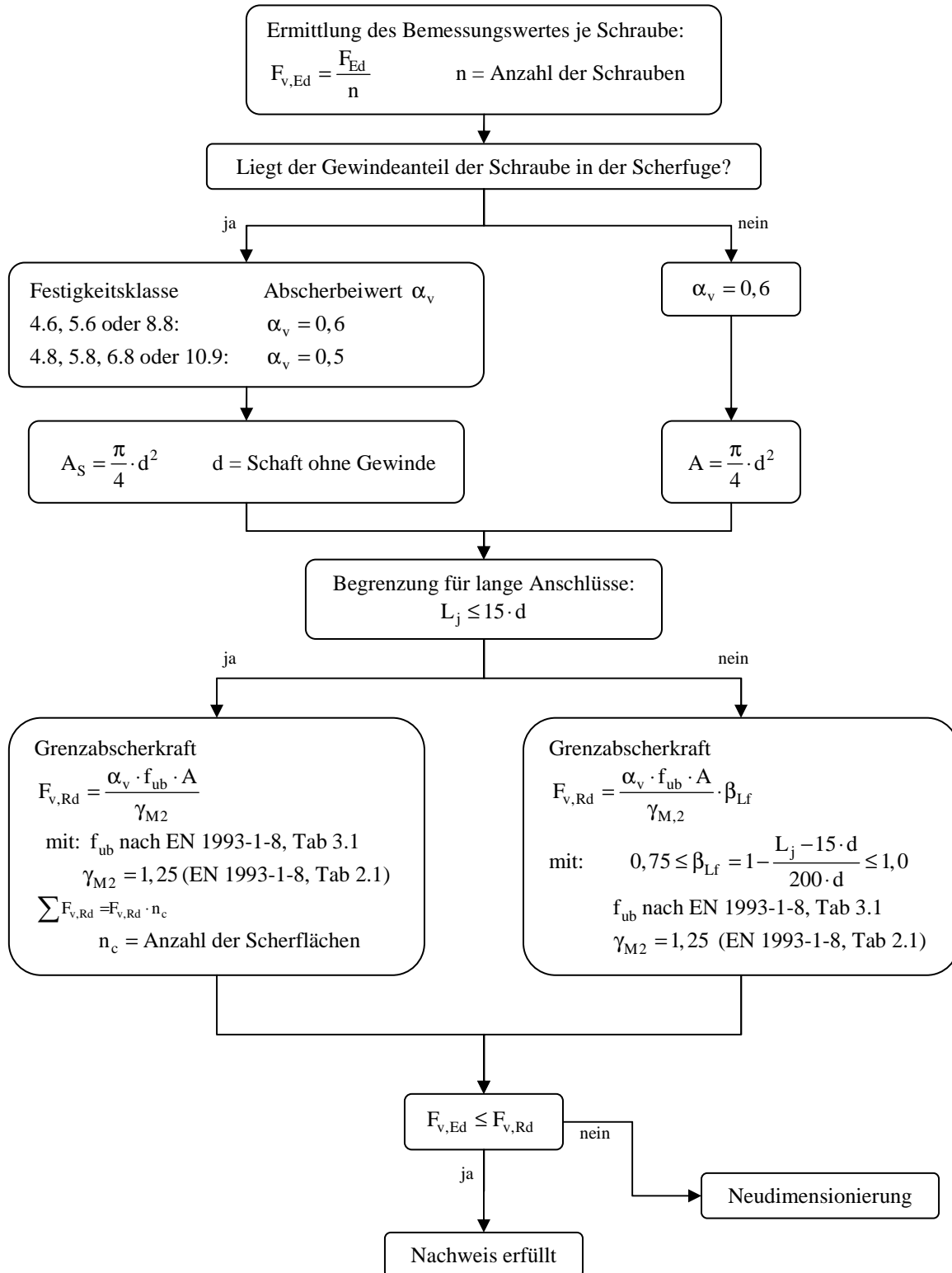
Abbildung 3: Länge p bei Winkeln mit Löchern in beiden Seiten



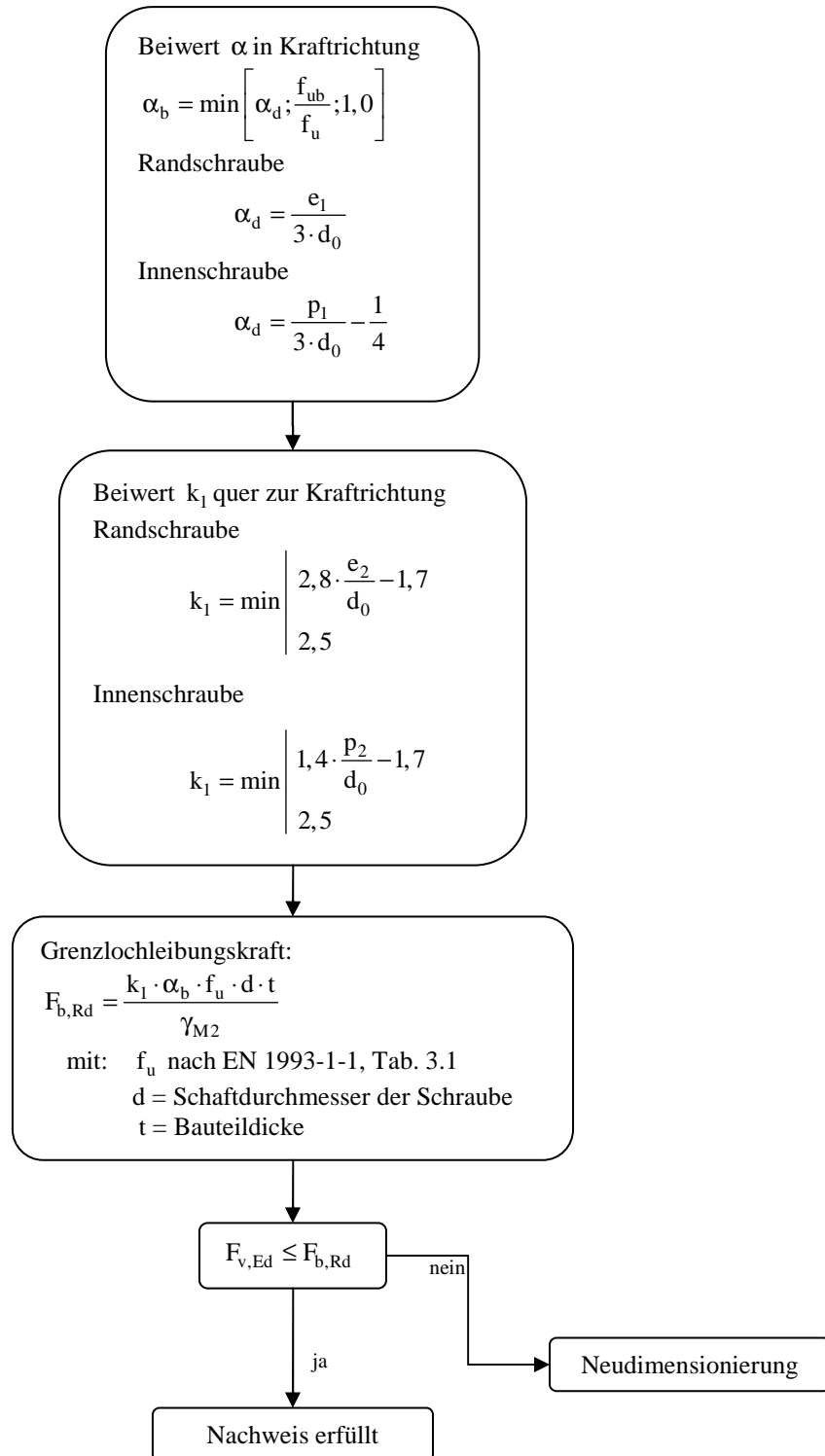
## 1.4 Nachweisschema für Schraubenverbindungen mit Längs- oder Querkräften nach EN 1993-1-8:2005 (D)



## 1.5 Nachweisschema auf Abscheren der Schraube nach EN 1993-1-8:2005 (D)



## 1.6 Nachweisschema auf Lochleibung des Grundwerkstoffes nach EN 1993-1-8:2005 (D)



## 1.7 Beispiel 1 – Bemessung eines geschraubten Laschenstoßes

### 1.7.1 Problemstellung:

Es ist der Bemessungswert der aufnehmbaren Kraft  $F$  der dargestellten geschraubten Scher-Lochleibungsverbindung (SL) nach DIN 18800 und Eurocode 3 zu ermitteln!

Es wurden rohe Schrauben M20 mit der Festigkeitsklasse 4.6 verwendet.

Das Gewinde der Schrauben liegt außerhalb der Scherfuge.

Der gebohrte Lochdurchmesser  $d_L$  beträgt 21mm.

Für die Bleche wurde S235 (St 37) verwendet.

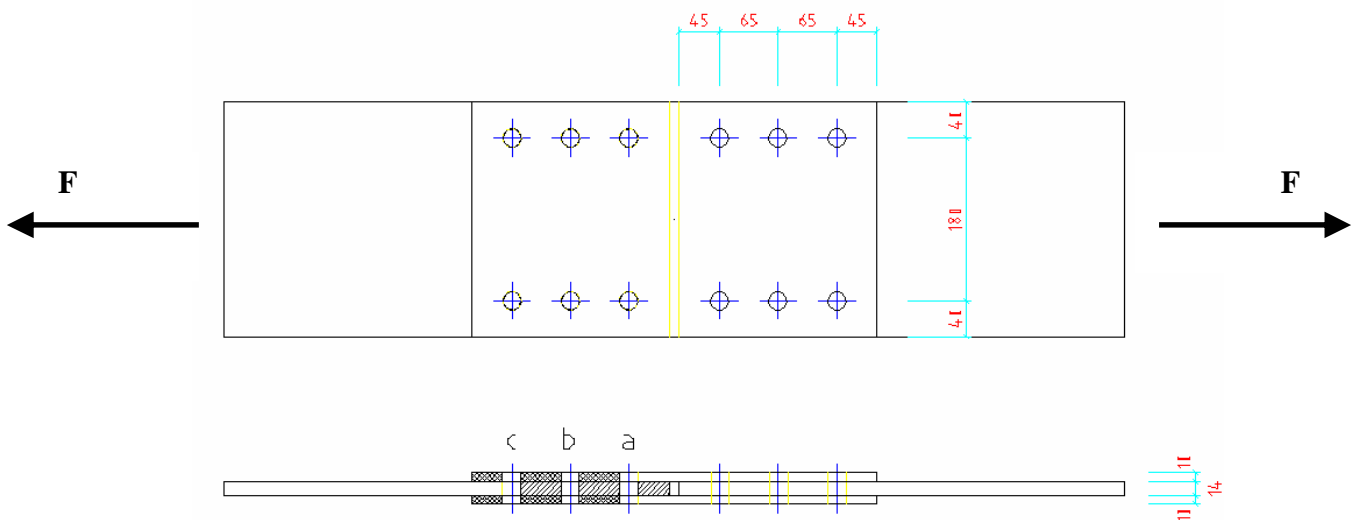


Abbildung 4: Laschenstoß

## 1.7.2 Bemessung nach DIN 18800 (11.90)

### 1.7.2.1 Konstruktive Überprüfung des Anschlusses

- Nennlochspiel (Schraube M20) nach DIN 18800 T.1, Tab. 6:

$$\Delta d = d_L - d_{\text{Sch}} = 21\text{mm} - 20\text{mm} = 1\text{mm}$$

$$0,3 < \Delta d = 1,0 < 2,0$$

- Überprüfung der Schraubenabstände nach DIN 18800 Teil 1, Tab. 7:

Randabstände:

$$e_1: \quad 1,2 \cdot d_L = 1,2 \cdot 21\text{mm} = 25\text{mm} < e_1 = 45\text{mm} < 3 \cdot d_L = 3 \cdot 21\text{mm} = 63\text{mm} \\ < 6 \cdot t = 6 \cdot 10\text{mm} = 60\text{mm}$$

$$e_2: \quad 1,2 \cdot d_L = 1,2 \cdot 21\text{mm} = 25\text{mm} < e_2 = 40\text{mm} < 3 \cdot d_L = 3 \cdot 21\text{mm} = 63\text{mm} \\ < 6 \cdot t = 6 \cdot 10\text{mm} = 60\text{mm}$$

Lochabstände:

$$e_3: \quad 2,4 \cdot d_L = 2,4 \cdot 21\text{mm} = 50\text{mm} < e_3 = 180\text{mm} < 10 \cdot d_L = 10 \cdot 21\text{mm} = 210\text{mm} \\ < 20 \cdot t = 20 \cdot 10\text{mm} = 200\text{mm}$$

$$e: \quad 2,2 \cdot d_L = 2,2 \cdot 21\text{mm} = 46\text{mm} < e = 65\text{mm} < 10 \cdot d_L = 10 \cdot 21\text{mm} = 210\text{mm} \\ < 20 \cdot t = 20 \cdot 10\text{mm} = 200\text{mm}$$

- Begrenzung der Anzahl von Schrauben nach DIN 18800 T.1, (803):

maximale Anzahl der Schrauben hintereinander:

6 Schrauben < 8 Schrauben

### 1.7.2.2 Grenzabscherkraft nach DIN 18800 Teil 1 (804):

- Rohe Schraube M16 / 4.6; Gewinde außerhalb der Scherfuge

$$V_{a,R,d} = A \cdot \alpha_a \cdot m \cdot \frac{f_{u,b,k}}{\gamma_M}$$

$$\alpha_a = 0,6 \quad (\text{Festigkeitsklasse 4.6})$$

$$m = 2 \quad (\text{zweischnittig})$$

$$f_{u,b,k} = 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{Zugfestigkeit der Schraube})$$

$$V_{a,R,d} = \frac{\pi}{4} \cdot (20\text{mm})^2 \cdot 0,6 \cdot 2 \cdot \frac{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,1} = 137087\text{N} = 137,1\text{kN}$$

### 1.7.2.3 Grenzlochleibungskräfte nach DIN 18800 Teil 1 (805)

- gebohrte Löcher  $d = 17\text{mm}$

$$V_{l,R,d} = t \cdot d_{\text{Sch}} \cdot \alpha_1 \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_M}$$

Schraube a:

Lochabstand in Kraftrichtung maßgebend (Laschen):

$$\text{Beiwert:} \quad \alpha_1 = 1,08 \cdot \frac{e}{d_L} - 0,77 = 1,08 \cdot \frac{65\text{mm}}{21\text{mm}} - 0,77 = 2,57 < 3,0$$

$$V_{l,R,d} = 2 \cdot 10\text{mm} \cdot 20\text{mm} \cdot 2,57 \cdot \frac{240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,1} = 224,30\text{kN}$$

Randabstand in Kraftrichtung maßgebend (Zugstab):

$$\text{Beiwert:} \quad \alpha_1 = 1,1 \cdot \frac{e_1}{d_L} - 0,3 = 1,1 \cdot \frac{45\text{mm}}{21\text{mm}} - 0,3 = 2,06$$

$$V_{l,R,d} = 14\text{mm} \cdot 20\text{mm} \cdot 2,06 \cdot \frac{240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,1} = 125,80\text{kN}$$

Schraube b:

Lochabstand in Kraftrichtung maßgebend(Laschen):

$$\text{Beiwert: } \alpha_1 = 1,08 \cdot \frac{e}{d_L} - 0,77 = 1,08 \cdot \frac{65\text{mm}}{21\text{mm}} - 0,77 = 2,57 < 3,0$$

$$V_{l,R,d} = 2 \cdot 10\text{mm} \cdot 20\text{mm} \cdot 2,57 \cdot \frac{240\text{N/mm}^2}{1,1} = 224191\text{N} = 224,19\text{kN}$$

Lochabstand in Kraftrichtung maßgebend(Zugstab):

$$\text{Beiwert: } \alpha_1 = 1,08 \cdot \frac{e}{d_L} - 0,77 = 1,08 \cdot \frac{65\text{mm}}{21\text{mm}} - 0,77 = 2,57 < 3,0$$

$$V_{l,R,d} = 14\text{mm} \cdot 20\text{mm} \cdot 2,57 \cdot \frac{240\text{N/mm}^2}{1,1} = 157000\text{N} = 157,00\text{kN}$$

Schraube c:

Randabstand in Kraftrichtung maßgebend (Laschen):

$$\text{Beiwert: } \alpha_1 = 1,1 \cdot \frac{e_1}{d_L} - 0,3 = 1,1 \cdot \frac{45\text{mm}}{21\text{mm}} - 0,3 = 2,06$$

$$V_{l,R,d} = 2 \cdot 10\text{mm} \cdot 20\text{mm} \cdot 2,06 \cdot \frac{240\text{N/mm}^2}{1,1} = 179782\text{N} = 179,78\text{kN}$$

Lochabstand in Kraftrichtung maßgebend (Zugstab):

$$\text{Beiwert: } \alpha_1 = 1,08 \cdot \frac{e}{d_L} - 0,77 = 1,08 \cdot \frac{65\text{mm}}{21\text{mm}} - 0,77 = 2,57 < 3,0$$

$$V_{l,R,d} = 14\text{mm} \cdot 20\text{mm} \cdot 2,57 \cdot \frac{240\text{N/mm}^2}{1,1} = 157000\text{N} = 157,00\text{kN}$$

#### 1.7.2.4 aufnehmbare Kraft der Schrauben

maßgebende Grenzabscherkraft (Schraube)

$$\sum V_{a,R,d} = 137,10\text{kN} \cdot 6 = 822,60\text{kN}$$

maßgebende Grenzlochleibungskraft (Zugstab Schraube a; Randabstand)

$$\sum V_{l,R,d} = 125,80\text{kN} \cdot 2 + 157,00\text{kN} \cdot 2 + 157,00\text{kN} \cdot 2 = 879,60\text{kN}$$

#### 1.7.2.5 Aufnehmbare Kraft des Zugstabes nach DIN 18800 Teil 1, 7.5.2

Blechquerschnitt: 14mmx260mm

Lochabzug nach DIN 18800 Teil 1, (742):

$$A_{\text{Brutto}} = 14\text{mm} \cdot 260\text{mm} = 3640\text{mm}^2$$

$$\Delta A = 2 \cdot d_L \cdot t = 2 \cdot 14\text{mm} \cdot 21\text{mm} = 588\text{mm}^2$$

$$A_{\text{Netto}} = A_{\text{Brutto}} - \Delta A = 3640\text{mm}^2 - 588\text{mm}^2 = 3052\text{mm}^2$$

$$\frac{A_{\text{Brutto}}}{A_{\text{Netto}}} = \frac{3640\text{mm}^2}{3052\text{mm}^2} = 1,19 < 1,2 \quad \Rightarrow \quad \text{Lochabzug kann vernachlässigt werden}$$

$$\max F = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} \cdot A_{\text{Brutto}} = \frac{240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,1} \cdot 3640\text{mm}^2 = 794,2\text{kN}$$

Der Zugstab kann ohne Lochabzug nach DIN 18800 - 794,2kN aufnehmen.

Der Anschluss kann nach DIN 18800 - **794,2kN** aufnehmen, wobei hier die Belastung des Zugstabes maßgebend ist.



### 1.7.3 Bemessung nach Eurocode 3 (EN 1993-1-8:2005 (D))

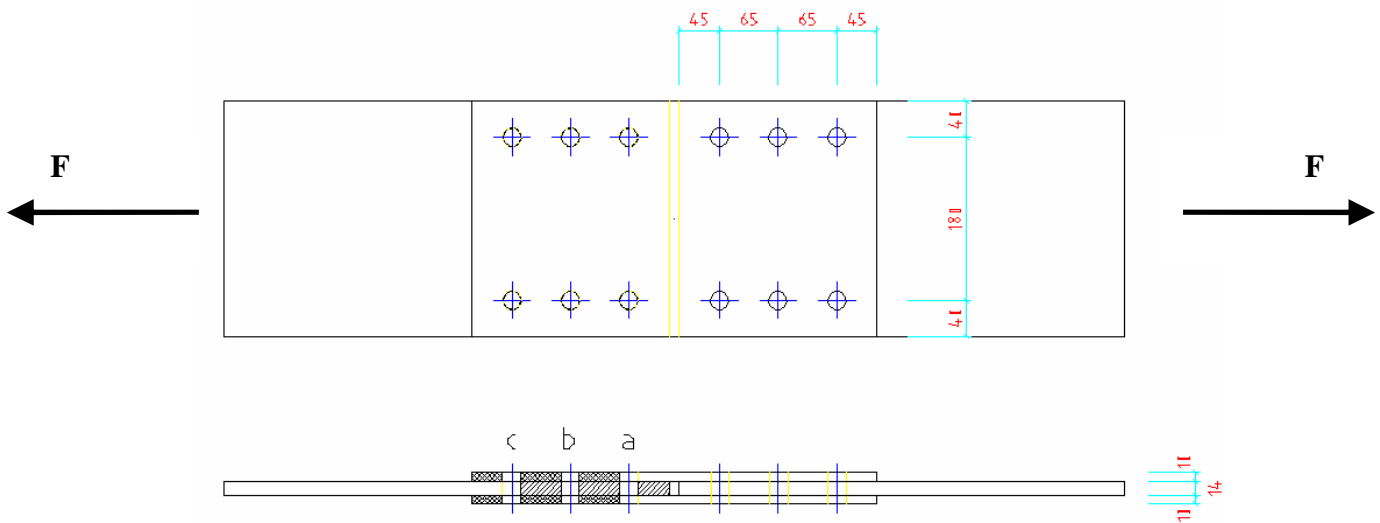


Abbildung 5: Laschenstoß

#### 1.7.3.1 Konstruktive Überprüfung des Anschlusses

- Nennlochspiel (Schraube M20) nach EN 1993-1-8:2005 (D) 3.6.1:

$$\Delta d = d_0 - d = 21\text{mm} - 20\text{mm} = 1\text{mm} < 2\text{mm}$$

- Überprüfung der Schraubenabstände nach EN 1993-1-8:2005 (D), Tab. 3.3:

Stahlsorte S235 nach EN 10025-2

Randabstände:

$$e_1: 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 21\text{mm} = 25\text{mm} < e_1 = 45\text{mm} < 4 \cdot t + 40\text{mm} = 4 \cdot 10\text{mm} + 40\text{mm} = 80\text{mm}$$

$$e_2: 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 21\text{mm} = 25\text{mm} < e_2 = 40\text{mm} < 4 \cdot t + 40\text{mm} = 4 \cdot 10\text{mm} + 40\text{mm} = 80\text{mm}$$

Lochabstände (normale Lochanordnung):

$$p_2: 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 21\text{mm} = 50\text{mm} < p_2 = 180\text{mm} > 14 \cdot t = 14 \cdot 10\text{mm} = 140\text{mm}$$

**=> p<sub>2</sub> muss auf 140mm reduziert werden**

$$p_2 = 140\text{mm} < 200\text{mm}$$

$$p_1: 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 21\text{mm} = 46\text{mm} < p_1 = 65\text{mm} < 14 \cdot t = 14 \cdot 10\text{mm} = 140\text{mm}$$

$$< 200\text{mm}$$

### 1.7.3.1 Grenzabscherkraft je Schraube nach EN 1993-1-8:2005 (D), Tab. 3.4

- Rohe Schraube M16 / 4.6; Gewinde außerhalb der Scherfuge

Beiwert  $\alpha_v$ :

Gewinde außerhalb der Scherfuge

$$\Rightarrow \alpha_v = 0,6$$

Begrenzungswert für lange Anschlüsse nach EN 1993-1-8:2005 (D), 3.8

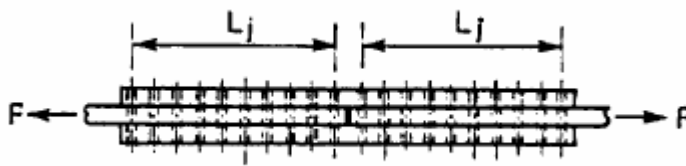


Abbildung 6: lange Anschlüsse

$$L_j = 2 \cdot p_1 = 2 \cdot 65 \text{ mm} = 130 \text{ mm} < 15 \cdot d = 15 \cdot 20 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$$

$\Rightarrow$  keine Abminderung der Grenzabscherkraft

### 1.7.3.2 Grenzabscherkraft nach EN 1993-1-8:2005 (D), Tab. 3.4

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M,2}}$$

$$f_{ub} = 400 \text{ N/mm}^2 \quad \text{EN 1993-1-8:2005 (D), Tab. 3.1}$$

$$\gamma_{M,2} = 1,25 \quad \text{EN 1993-1-8:2005 (D), Tab. 2.1}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (20 \text{ mm})^2}{1,25} = 60319 \text{ N} = 60,32 \text{ kN}$$

Aufnehmbare Kraft pro Schraube:

$$\sum F_{v,Rd} = F_{v,Rd} \cdot n_c = 60,32 \text{ kN} \cdot 2 = 120,64 \text{ kN}$$

$n_c$  = Anzahl der Scherflächen

Jede Schraube kann somit 120,64 kN aufnehmen.

### 1.7.3.3 Grenzlochleibungskraft nach EN 1993-1-8:2005 (D), Tab. 3.4

Beiwert  $\alpha_b$  in Kraftrichtung:

$$\alpha_b = \min \left[ \alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right]$$

$$\alpha_{d,1} = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{45\text{mm}}{3 \cdot 21\text{mm}} = 0,71$$

$$\alpha_{d,2} = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{65\text{mm}}{3 \cdot 21\text{mm}} - \frac{1}{4} = 0,78$$

$$\alpha_{d,3} = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{400 \text{ N/mm}^2}{360 \text{ N/mm}^2} = 1,11$$

$$\alpha_{d,4} = 1,0$$

$$\alpha_b = \min \alpha_d = 0,71$$

Beiwert  $k_1$  quer zur Kraftrichtung:

für am Rand liegende Schrauben:

$$k_1 = \min \left| \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{40\text{mm}}{21\text{mm}} - 1,7 = 3,63 \\ 2,5 \end{array} \right|$$

für innen liegende Schrauben:

$$k_1 = \min \left| \begin{array}{l} 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{140\text{mm}}{21\text{mm}} - 1,7 = 7,63 \\ 2,5 \end{array} \right|$$

$$k_1 = 2,5$$

Grenzlochleibungskraft:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$f_u = 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{EN 1993-1-8:2005 (D), Tab 3.1}$$

$$d = 20\text{mm}$$

$$t = 14\text{mm}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \quad \text{EN 1993-1-8:2005 (D), Tab 2.1}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot 0,71 \cdot 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 20\text{mm} \cdot 14\text{mm}}{1,25} = 143136\text{N} = 143,14\text{kN}$$

$$F_{v,Rd} = 120,64\text{kN} < F_{b,Rd} = 143,14\text{kN}$$

#### 1.7.3.4 aufnehmbare Kraft der Schrauben

maßgebende Grenzabscherkraft (Schraube)

$$\sum F_{v,Rd} = 120,64\text{kN} \cdot 6 = 723,84\text{kN}$$

maßgebende Grenzlochleibungskraft (Zugstab Schraube a; Randabstand)

$$\sum F_{b,Rd} = 143,14\text{kN} \cdot 6 = 858,84\text{kN}$$

### 1.7.3.5 aufnehmbare Kraft des Zugstabes nach EN 1993-1-1:2005 6.2.3

Blechquerschnitt: 14mm x 260mm

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

Bemessungswert der plastischen Beanspruchbarkeit des Bruttoquerschnitts:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{(14\text{mm} \cdot 260\text{mm}) \cdot 235 \text{ N/mm}^2}{1,00} = 855400\text{N} = 855,40\text{kN}$$

Bemessungswert der Zugbeanspruchbarkeit des Nettoquerschnitts längs der kritischen Risslinie durch die Löcher:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\Delta A = 2 \cdot d_L \cdot t = 2 \cdot 14\text{mm} \cdot 21\text{mm} = 588\text{mm}^2$$

$$A_{net} = A_{Brutto} - \Delta A = 3640\text{mm}^2 - 588\text{mm}^2 = 3052\text{mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot 3052\text{mm}^2 \cdot 360 \text{ N/mm}^2}{1,25} = 791078\text{N} = 791,08\text{kN}$$

$$N_{t,Rd} = \min \quad N_{pl,Rd} = 855,40\text{kN}$$

$$N_{u,Rd} = \underline{791,08\text{kN}}$$

Der Zugstab kann nach Eurocode 3 - 791,08kN aufnehmen.

Der Anschluss kann nach Eurocode 3 auf Grund der maßgebenden Grenzabscherkraft **723,84kN** aufnehmen, wobei hier die Abscherbeanspruchung der Schrauben maßgebend ist.

### 1.7.4 Auswertung (Beispiel 1)

- konstruktive Begrenzungen:

Die maximalen Randabstände des Laschenstoßes können nach EC3 um 33 % erhöht werden, die maximalen Lochabstände hingegen sind nach EC3 30 % niedriger anzusetzen.

Dies liegt an der unterschiedlichen Berechnungsmethode der einzelnen Abstände.

Der minimale Rand- und Lochabstand hingegen ist bei beiden Normen gleich.

Da der vorhandene Lochabstand senkrecht zur Lastrichtung den maximalen Lochabstand überschritten hat ( $p_2 = 180\text{mm} > 140\text{mm}$ ), müsste dieser auf 140mm reduziert werden.

- Schraubenbelastung:

Die Schrauben können nach DIN eine 14 % höhere Abscherbeanspruchung als nach EC3 aufnehmen.

Dies liegt an dem höheren Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{M,2} = 1,25$  nach EC3 gegenüber  $\gamma_M = 1,1$  nach DIN.

$$\frac{\max F_{\text{DIN}}}{\max F_{\text{EC3}}} = \frac{822,6\text{kN}}{723,72\text{kN}} = 1,14$$

- Maximale Beanspruchung des Bleches:

Trotz des unterschiedlichen Berechnungsverfahrens ist die Lochleibungsbeanspruchung nach DIN nur 2,4 % größer als nach EC3.

$$\frac{\max F_{\text{DIN}}}{\max F_{\text{EC3}}} = \frac{879,6\text{kN}}{858,84\text{kN}} = 1,024$$

Obwohl nach EC der Lochabzug nicht vernachlässigt wird, kann der Zugstab fast die gleiche Belastung aufnehmen. Die maximale Zugkraft unterscheidet sich nur um 0,4 %.

$$\frac{\max F_{\text{DIN}}}{\max N_{\text{EC3}}} = \frac{794,2\text{kN}}{791,08\text{kN}} = 1,004$$

- Gesamtbelastung des Anschlusses:

Nach Berücksichtigung der maßgebenden Grenzwerte der Beanspruchbarkeit kann der Anschluss nach DIN 18800 eine um 10 % größere Belastung als nach Eurocode 3 aufnehmen. Die DIN sieht die Zugbeanspruchung des Blechs als maßgebend, der Eurocode jedoch das Abscheren der Schrauben.

$$\frac{\max F_{\text{DIN, Zugstab}}}{\max F_{\text{EC3, Abscheren}}} = \frac{794,2\text{kN}}{723,84\text{kN}} = 1,1$$

## 1.8 Beispiel 2 – Nachweis eines geschraubten Trägeranschlusses

### 1.8.1 Problemstellung

Es sind die Schrauben des dargestellten Anschlusses, des Steges des U 140 an den Flansch des HEB 300, für die Belastung von 80 kN (Bemessungswert) nachzuweisen.

Es wurden pro Scher- Lochleibungsverbindung (SL) 2 rohe Schrauben M16 mit der Festigkeitsklasse 4.6 verwendet.

Das Gewinde der Schrauben liegt außerhalb der Scherfuge.

Die gebohrten Löcher haben einen Durchmesser von je 17mm.

Die Profile bestehen aus S235 (St 37).

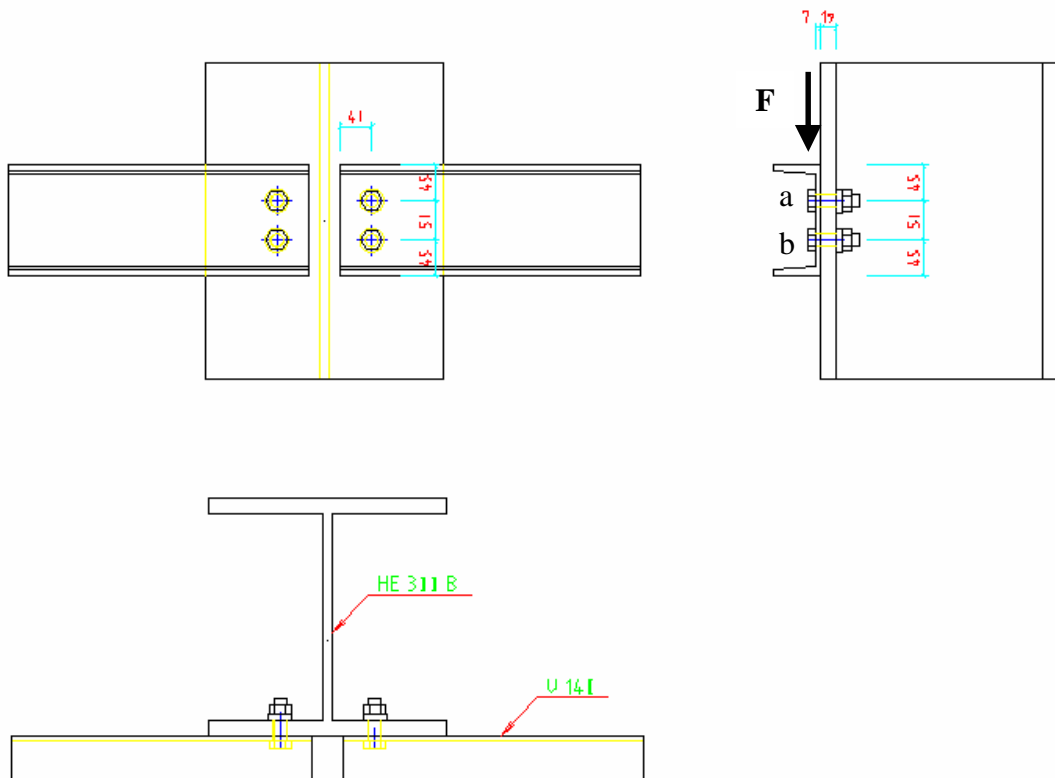


Abbildung 7: Trägerstoß



## 1.8.2 Nachweis nach DIN 18800 (11.90)

### 1.8.2.1 Konstruktive Überprüfung des Anschlusses

- Nennlochspiel (Schraube M16) nach DIN 18800 T.1, Tab. 6:

$$\Delta d = d_L - d_{Sch} = 17\text{mm} - 16\text{mm} = 1\text{mm}$$

$$0,3 < \Delta d = 1,0 < 2,0$$

- Überprüfung der Schraubenabstände nach DIN 18800 Teil 1, Tab. 7:

Randabstände:

$$e_1: \quad 1,2 \cdot d_L = 1,2 \cdot 17\text{mm} = 20,4\text{mm} < e_1 = 45\text{mm} < 8 \cdot t = 8 \cdot 7\text{mm} = 56\text{mm}$$

$$e_2: \quad 1,2 \cdot d_L = 1,2 \cdot 17\text{mm} = 20,4\text{mm} < e_2 = 40\text{mm} < 3 \cdot d_L = 3 \cdot 17\text{mm} = 51\text{mm} \\ < 6 \cdot t = 6 \cdot 7\text{mm} = 42\text{mm}$$

Lochabstände:

$$e: \quad 2,2 \cdot d_L = 2,2 \cdot 17\text{mm} = 37,4\text{mm} < e = 50\text{mm} < 10 \cdot d_L = 10 \cdot 17\text{mm} = 170\text{mm} \\ < 20 \cdot t = 20 \cdot 7\text{mm} = 140\text{mm}$$

- Begrenzung der Anzahl von Schrauben nach DIN 18800 T.1, (803):

maximale Anzahl der Schrauben hintereinander:

$$2 \text{ Schrauben} < 8 \text{ Schrauben}$$

### 1.8.2.2 Nachweis der Grenzabscherkraft nach DIN 18800 Teil 1 (804):

- Rohe Schraube M16 / 4.6 mit Gewinde außerhalb der Scherfuge

$$V_{a,R,d} = A \cdot \alpha_a \cdot m \cdot \frac{f_{u,b,k}}{\gamma_M}$$

$$\alpha_a = 0,6 \quad (\text{Festigkeitsklasse 4.6})$$

$$m = 1 \quad (\text{einschnittig})$$

$$f_{u,b,k} = 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{Zugfestigkeit der Schraube})$$

$$V_{a,R,d} = \frac{\pi}{4} \cdot (16\text{mm})^2 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot \frac{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,1} = 43868\text{N} = 43,87\text{kN}$$

$$\frac{F_d}{\sum V_{a,R,d}} = \frac{80\text{kN}}{2 \cdot 43,87\text{kN}} = 0,91 < 1$$

Nachweis erfüllt

### 1.8.2.3 Nachweis der Grenzlochleibungskräfte nach DIN 18800 Teil 1 (805)

- gebohrte Löcher mit  $d = 17\text{mm}$

$$V_{l,R,d} = t \cdot d_{\text{Sch}} \cdot \alpha_1 \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_M}$$

Schraube a:

Lochabstand in Kraftrichtung maßgebend:

$$\text{Beiwert:} \quad \alpha_1 = 1,08 \cdot \frac{e}{d_L} - 0,77 = 1,08 \cdot \frac{50\text{mm}}{17\text{mm}} - 0,77 = 2,41 < 3,0$$

$$V_{l,R,d} = 19\text{mm} \cdot 16\text{mm} \cdot 2,41 \cdot \frac{240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,1} = 159,8\text{kN}$$

Randabstand in Kraftrichtung maßgebend:

$$\text{Beiwert:} \quad \alpha_1 = 1,1 \cdot \frac{e_1}{d_L} - 0,3 = 1,1 \cdot \frac{45\text{mm}}{17\text{mm}} - 0,3 = 2,61$$

$$V_{l,R,d} = 7\text{mm} \cdot 16\text{mm} \cdot 2,61 \cdot \frac{240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,1} = 63,8\text{kN}$$

Schraube b:

Lochabstand in Kraftrichtung maßgebend:

$$\text{Beiwert: } \alpha_1 = 1,08 \cdot \frac{e}{d_L} - 0,77 = 1,08 \cdot \frac{50\text{mm}}{17\text{mm}} - 0,77 = 2,41 < 3,0$$

$$V_{l,R,d} = 7\text{mm} \cdot 16\text{mm} \cdot 2,41 \cdot \frac{240\text{N/mm}^2}{1,1} = 58,9\text{kN}$$

$$\sum V_{l,R,d} = 63,8\text{kN} + 58,9\text{kN} = 122,7\text{kN}$$

$$\frac{F_d}{\sum V_{a,R,d}} = \frac{80\text{kN}}{122,7\text{kN}} = 0,65 < 1$$

Nachweis erfüllt

#### 1.8.2.4 Maßgebende Nachweise

Grenzabscherkraft (Schraube):

$$\frac{F_d}{\sum V_{a,R,d}} = \frac{80\text{kN}}{87,74\text{kN}} = 0,91 < 1$$

Die Schrauben sind zu 91% auf Abscheren beansprucht.

Grenzlochleibung (Blech):

$$\frac{F_d}{\sum V_{a,R,d}} = \frac{80\text{kN}}{122,7\text{kN}} = 0,65 < 1$$

Die Lochleibung des Bleches ist zu 65% beansprucht.

Somit ergibt sich eine maßgebende Beanspruchung des Anschlusses zu 91%.

### 1.8.3 Nachweis nach Eurocode 3 (EN 1993-1-8:2005 (D))

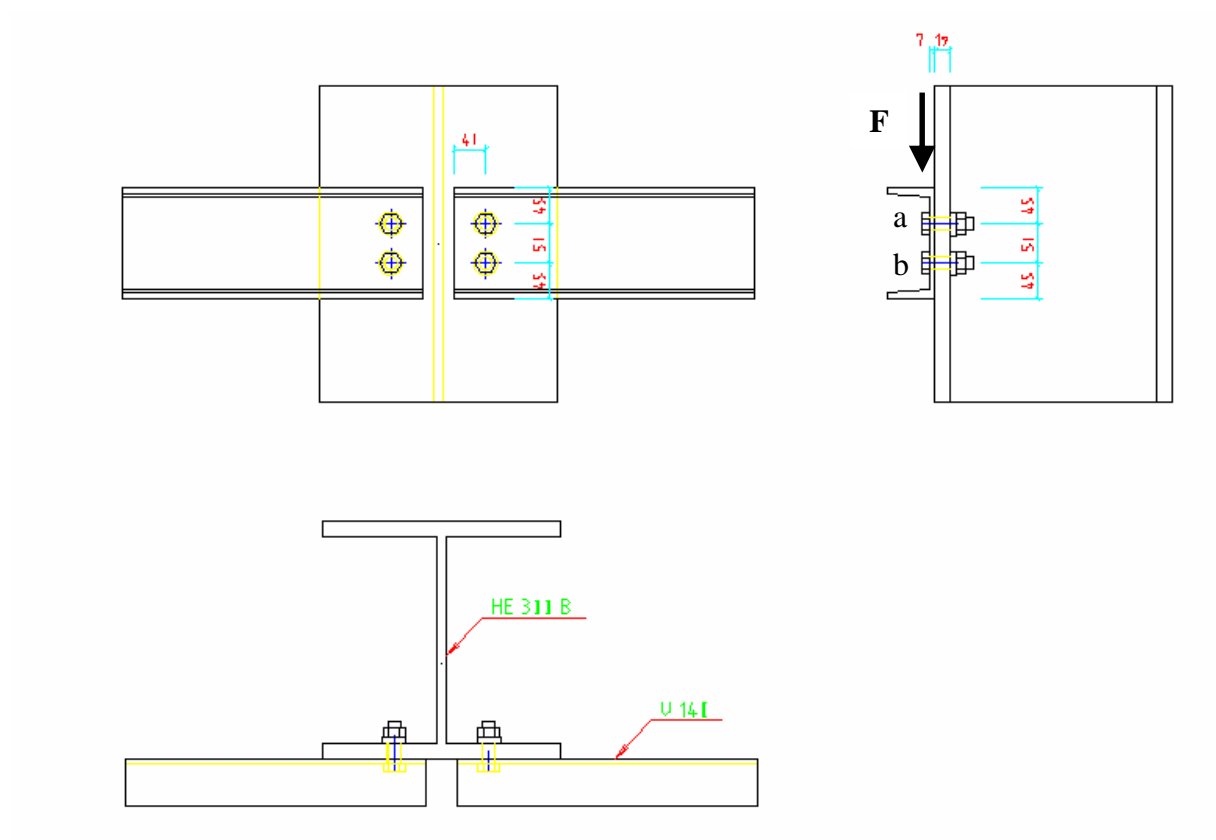


Abbildung 8: Trägerstoß

Belastung je Schraube:

$$F_{v,Ed} = \frac{F_d}{2} = \frac{80\text{kN}}{2} = 40\text{kN}$$

#### 1.8.3.1 Konstruktive Überprüfung des Anschlusses

- Nennlochspiel (Schraube M16) nach EN 1993-1-8:2005 (D) 3.6.1:

$$\Delta d = d_0 - d = 17\text{mm} - 16\text{mm} = 1\text{mm} < 2\text{mm}$$

- Überprüfung der Schraubenabstände nach EN 1993-1-8:2005 (D), Tab. 3.3:

Stahlsorte S235 nach EN 10025-2

Randabstände:

$$e_1: 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 17 \text{ mm} = 20,4 \text{ mm} < e_1 = 45 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 4 \cdot 7 \text{ mm} + 40 \text{ mm} = 68 \text{ mm}$$

$$e_2: 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 17 \text{ mm} = 20,4 \text{ mm} < e_2 = 40 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 4 \cdot 7 \text{ mm} + 40 \text{ mm} = 68 \text{ mm}$$

Lochabstand:

$$p_1: 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 17 \text{ mm} = 37,4 \text{ mm} < p_1 = 50 \text{ mm} < 14 \cdot t = 14 \cdot 7 \text{ mm} = 98 \text{ mm}$$

$$< 200 \text{ mm}$$

#### 1.8.3.2 Nachweis der Grenzabscherkraft je Scherfuge nach EN 1993-1-8:2005 (D), Tab. 3.4

- Rohe Schraube M16 / 4.6 mit Gewinde außerhalb der Scherfuge

Beiwert  $\alpha_v$ :

Gewinde außerhalb der Scherfuge

$$\Rightarrow \alpha_v = 0,6$$

Begrenzungswert für lange Anschlüsse nach EN 1993-1-8:2005 (D), 3.8

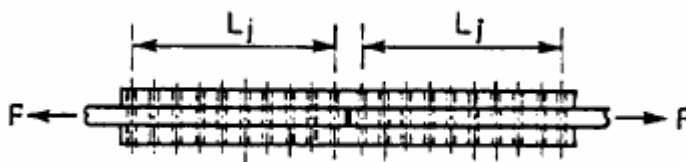


Abbildung 9: lange Anschlüsse

$$L_j = p_1 = 50 \text{ mm} < 15 \cdot d = 15 \cdot 16 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

$\Rightarrow$  keine Abminderung der Grenzabscherkraft nötig

Grenzabscherkraft:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M,2}}$$

$$f_{ub} = 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{EN 1993-1-8:2005 (D), Tab. 3.1}$$

$$\gamma_{M,2} = 1,25 \quad \text{EN 1993-1-8:2005 (D), Tab2.1}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (16\text{mm})^2}{1,25} = 38604\text{N} = 38,60\text{kN}$$

$$\sum F_{v,Rd} = F_{v,Rd} \cdot n_c = 38,60\text{kN} \cdot 1 = 38,60\text{kN}$$

$n_c$  = Anzahl der Scherflächen

$$F_{v,Ed} = 40\text{kN} > F_{v,Rd} = 38,60\text{kN}$$

=> **Nachweis nicht erfüllt**

mögliche Maßnahmen:

- Erhöhung der Festigkeitsklasse der Schrauben
- Schraubendicke vergrößern
- Schraubenanzahl erhöhen

Gewählte Maßnahme: - Festigkeitsklasse der Schrauben erhöhen:

neu gewählt: **Schrauben M16 / 5.6**

Neuberechnung der Grenzabscherkraft:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M,2}}$$

$$f_{ub} = 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{EN 1993-1-8:2005 (D), Tab. 3.1}$$

$$\gamma_{M,2} = 1,25 \quad \text{EN 1993-1-8:2005 (D), Tab2.1}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (16\text{mm})^2}{1,25} = 48255\text{N} = 48,26\text{kN}$$

Nachweis:

$$\sum F_{v,Rd} = F_{v,Rd} \cdot n_c = 48,26\text{kN} \cdot 1 = 48,26\text{kN}$$

$n_c$  = Anzahl der Scherflächen

$$F_{v,Ed} = 40\text{kN} < F_{v,Rd} = 48,26\text{kN}$$

Nachweis erfüllt

### 1.8.3.3 Nachweis der Grenzlochleibungskräfte nach DIN EN 1993-1-8:2005 Tab. 3.4

**- für U140:**

Beiwert  $\alpha_b$  in Kraftrichtung:

$$\alpha_b = \min \left[ \alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1, 0 \right]$$

$$\alpha_{d,1} = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{45\text{mm}}{3 \cdot 17\text{mm}} = 0,88$$

$$\alpha_{d,2} = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{50\text{mm}}{3 \cdot 17\text{mm}} - \frac{1}{4} = 0,73$$

$$\alpha_{d,2} = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{500\text{N/mm}^2}{360\text{N/mm}^2} = 1,39$$

$$\alpha_{d,3} = 1,0$$

$$\alpha_b = \min \alpha_d = 0,73$$

Beiwert  $k_1$  quer zur Kraftrichtung:

$$k_1 = \min \left| \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{40\text{mm}}{17\text{mm}} - 1,7 = 4,89 \\ 2,5 \end{array} \right|$$

$$k_1 = 2,5$$

Grenzlochleibungskraft:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$f_u = 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{EN 1993-1-8:2005 (D), Tab 3.1}$$

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$t = 7 \text{ mm}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \quad \text{EN 1993-1-8:2005 (D), Tab 2.1}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot 0,73 \cdot 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 16 \text{ mm} \cdot 7 \text{ mm}}{1,25} = 58867,2 \text{ N} = 58,87 \text{ kN}$$

**- für HEB300:**

Beiwert  $\alpha_b$  in Kraftrichtung:

$$\alpha_b = \min \left[ \alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right]$$

$$\alpha_{d,1} > 1,0, \text{ da } e_1 > 3 \cdot 17 \text{ mm} = 51 \text{ mm}$$

$$\alpha_{d,2} = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{50 \text{ mm}}{3 \cdot 17 \text{ mm}} - \frac{1}{4} = 0,73$$

$$\alpha_{d,2} = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 1,39$$

$$\alpha_{d,3} = 1,0$$

$$\alpha_b = \min \alpha_d = 0,73$$

Beiwert  $k_1$  quer zur Kraftrichtung:

$$k_1 = \min \left| \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{40 \text{ mm}}{17 \text{ mm}} - 1,7 = 4,89 \\ 2,5 \end{array} \right|$$

$$k_1 = 2,5$$



Grenzlochleibungskraft:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$f_u = 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{EN 1993-1-8:2005 (D), Tab 3.1}$$

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$t = 19 \text{ mm}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \quad \text{EN 1993-1-8:2005 (D), Tab 2.1}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot 0,73 \cdot 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 16 \text{ mm} \cdot 19 \text{ mm}}{1,25} = 159782,4 \text{ N} = 159,78 \text{ kN}$$

Nachweis

$$\text{U140:} \quad F_{v,Ed} = 40 \text{ kN} < F_{b,Rd} = 58,87 \text{ kN}$$

$$\text{HEB300:} \quad F_{v,Ed} = 40 \text{ kN} < F_{b,Rd} = 159,78 \text{ kN}$$

Nachweise erfüllt

#### 1.8.3.4 Maßgebende Nachweise

Grenzabscherkraft (Schraube):

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{40 \text{ kN}}{48,26 \text{ kN}} = 0,83 < 1$$

Die Schrauben sind zu 83% auf Abscheren beansprucht.

Grenzlochleibung (Blech):

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{40 \text{ kN}}{58,87 \text{ kN}} = 0,68 < 1$$

Die Lochleibung des Bleches ist zu 68% beansprucht.

Somit ergibt sich eine maßgebende Beanspruchung des Anschlusses zu 83%.

### **1.8.4 Auswertung (Beispiel 2)**

- konstruktive Begrenzungen:

Die maximalen Randabstände der Trägerverbindung in Kraftrichtung können nach EC3 um 21 % und die Randabstände quer zur Kraftrichtung sogar um 62 % erhöht werden.

Die maximalen Lochabstände hingegen sind nach EC3, wie schon in Bsp. 1, 30 % niedriger anzusetzen.

Der minimale Rand- und Lochabstand hingegen ist bei beiden Normen gleich.

- Schraubenbelastung:

Nach DIN sind die Schrauben zu 91 % auf Abscheren beansprucht, nach EC3 hingegen sind sie mit 4 % überlastet.

Deshalb musste die Festigkeitsklasse der Schrauben nach Eurocode auf 5.6 erhöht werden.

Diese Erhöhung wurde durch den größeren Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{M,2} = 1,25$  nötig.

- Maximale Beanspruchung des Blechs:

Nach EC3 wird zur Berechnung der Lochleibbeanspruchung die Zugfestigkeit statt der Streckgrenze nach DIN eingesetzt. Dabei wird nach Eurocode allerdings der Sicherheitsbeiwert  $\gamma_M$  von 1,1 auf 1,25 erhöht.

Zusätzlich kommt nach EC3 ein Beiwert  $k_l$  quer zur Kraftrichtung zum Einsatz.

Trotz dieser Unterschiede ist die Auslastung auf Lochleibung nach beiden Normen annähernd gleich (nach DIN 65 % und nach EC3 68 %).

- Gesamtbelastung des Anschlusses:

Der Anschluss des Steges des U 140 an den Flansch des HEB 300 mittels zweier Schrauben ist nach Berücksichtigung der maßgebenden Beanspruchung nach DIN 18800 zu 91 % und nach EC3, mit Schrauben der Festigkeitsklasse 4.6, zu 104 % ausgelastet.

Die 4 %-ige Überlastung machte den Einsatz der höheren Festigkeitsklasse 5.6 nötig, damit ist der Anschluss nach EC 3 zu 83 % ausgelastet.

## **2     Bemessung und Nachweis ausgewählter geschweißter Verbindungen**

### **2.1     Einleitung**

In diesem Abschnitt werden 2 ausgewählte geschweißte Kehlnahtverbindungen unter den Bestimmungen der DIN 18800 Teil 1 und der EN 1993-1-8:2005 (D) nachgewiesen und verglichen.

Die eingesetzten Baustähle haben eine Mindestbauteildicke von 4mm und entsprechen den Anforderungen der EN 1993-1-1:2005 (D) und der DIN 18800.

Die Schweißnähte unterliegen ausschließlich ruhender Belastung und müssen nach DIN 18800 eine bauaufsichtliche Zulassung haben.

Nach Eurocode 3 müssen sie die Anforderungen der Bezugsnormengruppe 5 in 1.2.5 erfüllen.

Die Anforderungen an die Schweißzusätze werden in diesen Beispielen als erfüllt angenommen.

Die Terrassenbruchgefahr sollte in der Regel beachtet werden, wird aber in diesen Beispielen nicht untersucht.

## 2.2 Ausgewählte Unterschiede zwischen DIN 18800 und Eurocode 3

	<b>DIN</b> <b>DIN 18800 (11.90)</b>	<b>EC3</b> <b>EN 1993-1-8:2005 (D)</b>
Mindestblechdicke	$t \geq 3\text{mm}$	$t \geq 4\text{mm}$
Minimale wirksame Kehlnahtlänge	$l \geq 6 \cdot a$ $l \geq 30\text{mm}$	$L_w \geq 6 \cdot a_w$ $L_w \geq 30\text{mm}$
Maximale wirksame Kehlnahtlänge überlappter Stöße	$l \leq 150 \cdot a$	$L_w \leq 150 \cdot a_w$ sonst Grenzkraft mit $\beta_{Lw} = 1,2 - \frac{0,2 \cdot L_j}{(150 \cdot a_w)} \leq 1,0$ abmindern
Grenzwerte für Kehlnahtdicken	$2\text{mm} \leq a \leq 0,7 \cdot \min t$ $a \geq \sqrt{\max t} - 0,5$ (Empfehlung) Blehdicken $t \geq 30\text{mm}$ : $a \geq 5\text{mm}$	$3\text{mm} \leq a_w \leq 0,7 \cdot t_{\min}$ $a_w \geq \sqrt{\max t} - 0,5$ Blehdicken $30\text{mm} < t \leq 60\text{mm}$ : $a_w \geq 5\text{mm}$
Wirksame Kehlnahtfläche	$A_w = \sum A \cdot l$	$A_w = \sum a_w \cdot l_{\text{eff}}$
Streckgrenze Grundwerkstoff	$f_y$	$f_y$
Zugfestigkeit Grundwerkstoff	$f_u$	$f_u$
Teilsicherheitsbeiwert	$\gamma_M = 1,1$	$\gamma_{M,2} = 1,25$
Korrelationsbeiwert	nicht vorhanden	$\beta_w$ nach EN 1993-1-8:2005 (D) Tabelle 4.1

Nachweis	$\frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,d}} \leq 1$ <p>mit <math>\sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2}</math></p> $\sigma_{w,R,d} = \alpha_w \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_M}$ <p><math>f_{y,k}</math> nach Tabelle 1</p> <p><math>\alpha_w</math> nach Tabelle 21</p>	<p>Richtungsbezogenes Verfahren:</p> $\left[ \sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2) \right]^{0,5} \leq \frac{f_u}{(\beta_w \cdot \gamma_{M2})}$ <p>und</p> $\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$ <p>alternativ:</p> <p>Vereinfachtes Verfahren:</p> $F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$ <p>mit: <math>F_{w,Rd} = \left( \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \right) \cdot a</math></p>
----------	--	--

Tabelle 4.1 — Korrelationsbeiwert  $\beta_w$  für Kehlnähte

Norm und Stahlsorte			Korrelationsbeiwert $\beta_w$
EN 10025	EN 10210	EN 10219	
S 235 S 235 W	S 235 H	S 235 H	0,8
S 275 S 275 N/NL S 275 M/ML	S 275 H S 275 NH/NLH	S 275 H S 275 NH/NLH S 275 MH/MLH	0,85
S 355 S 355 N/NL S 355 M/ML S 355 W	S 355 H S 355 NH/NLH	S 355 H S 355 NH/NLH S 355 MH/MLH	0,9
S 420 N/NL S 420 M/ML		S 420 MH/MLH	1,0
S 460 N/NL S 460 M/ML S 460 Q/QL/QL1	S 460 NH/NLH	S 460 NH/NLH S 460 MH/MLH	1,0

Abbildung 10: Korrelationsbeiwert aus EN 1993-1-8:2005 (D) Tab. 4.1

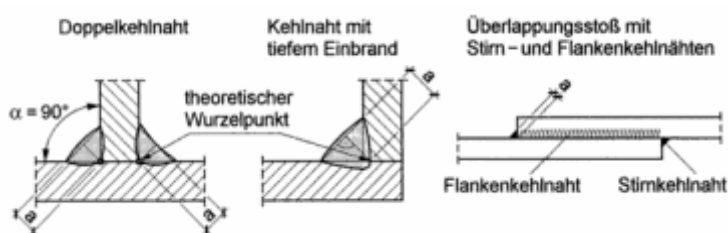


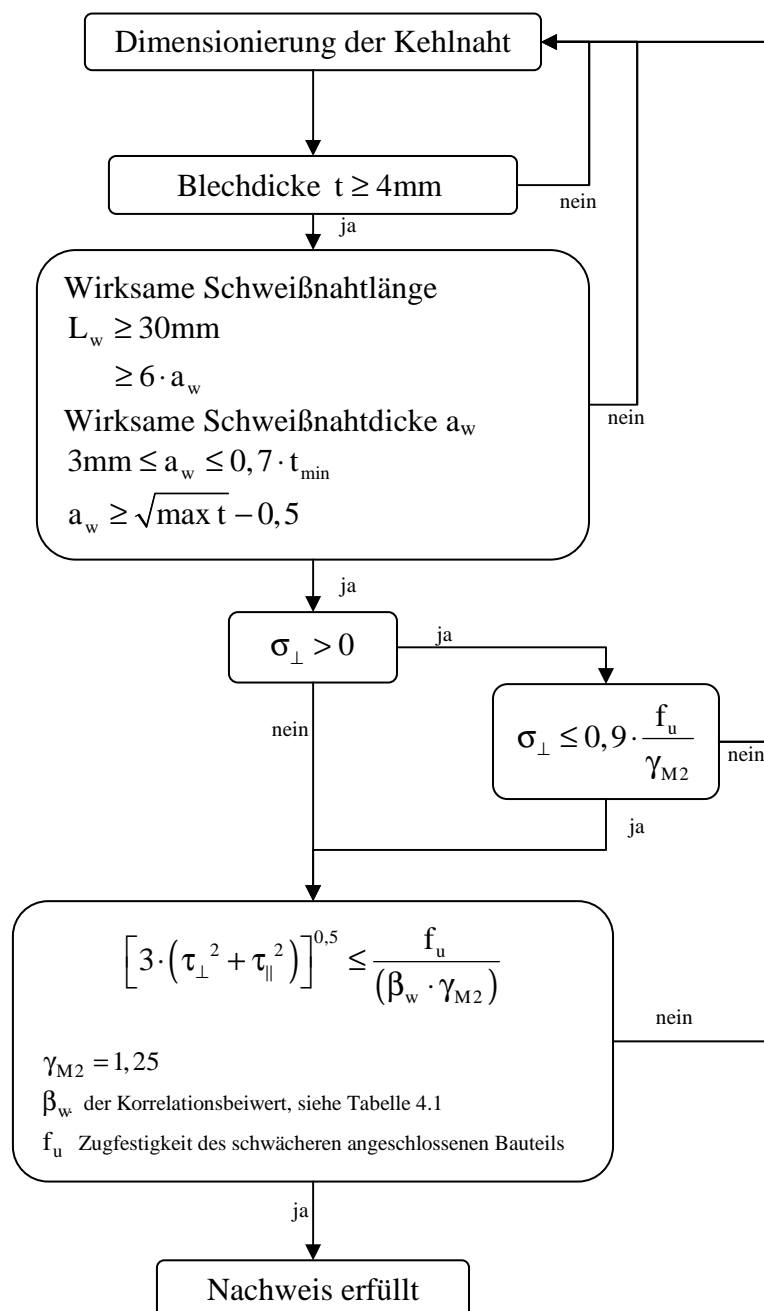
Abbildung 11: Kehlnahtarten

### 2.3.1 Nachweisschema geschweißter Kehlnahtverbindungen nach EN 1993-1-8:2005

#### (D) 4.5.3.2 - Richtungsbezogenes Verfahren:

Gültig für:

- durchgeschweißte Kehlnahtverbindungen mit einem Öffnungswinkel der Flanken von  $60^\circ$  bis  $120^\circ$ .
- Bauteildicken von 4mm bis 30mm.
- Überlappte Stöße mit einer Länge von  $L_w \leq 150 \cdot a_w$
- mittig angeschlossene Bauteile

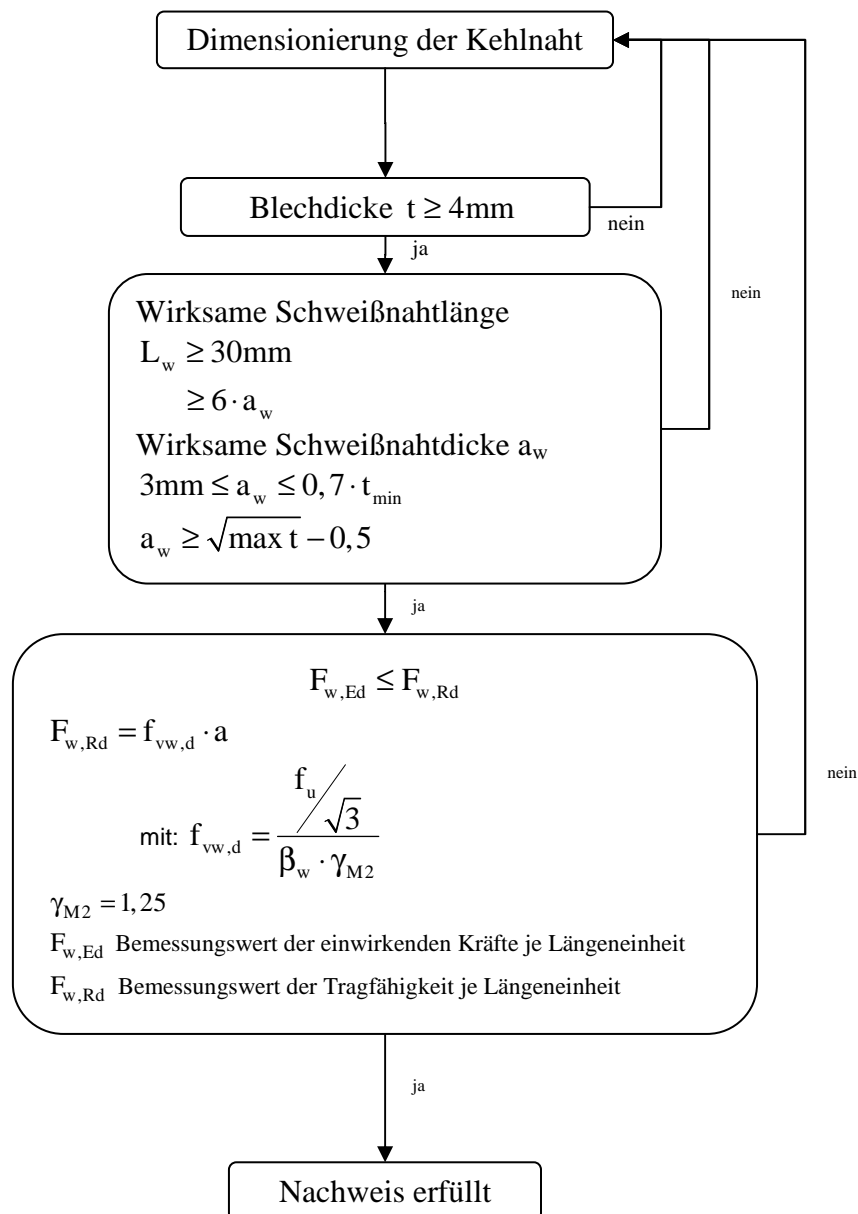


## 2.3.2 Nachweisschema geschweißter Kehlnahtverbindungen nach EN 1993-1-8:2005

### (D) 4.5.3.3 - Vereinfachtes Verfahren:

Gültig für:

- durchgeschweißte Kehlnahtverbindungen mit einem Öffnungswinkel der Flanken von  $60^\circ$  bis  $120^\circ$
- Bauteildicken von 4mm bis 30mm
- überlappte Stöße mit einer Länge von  $L_w \leq 150 \cdot a_w$
- mittig angeschlossene Bauteile



### 2.3.3 Spannungs- und Belastungsbilder zum Kehlnahtnachweis

Nach DIN 18800 (11.90)

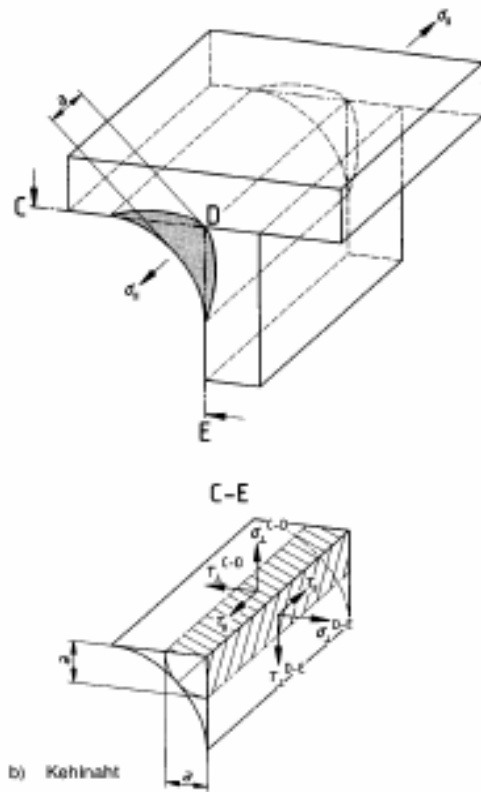


Abbildung 12: Spannungsbild Kehlnaht nach DIN 18800

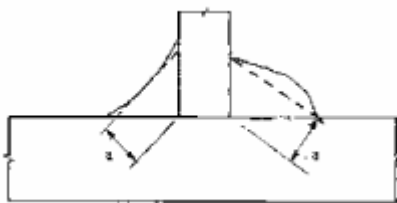


Abbildung 13: Kehlnahtdicke nach DIN 18800



### Nach EN 1993-1-8:2005 (D) 4.5.3.2 - Richtungsbezogenes Verfahren:

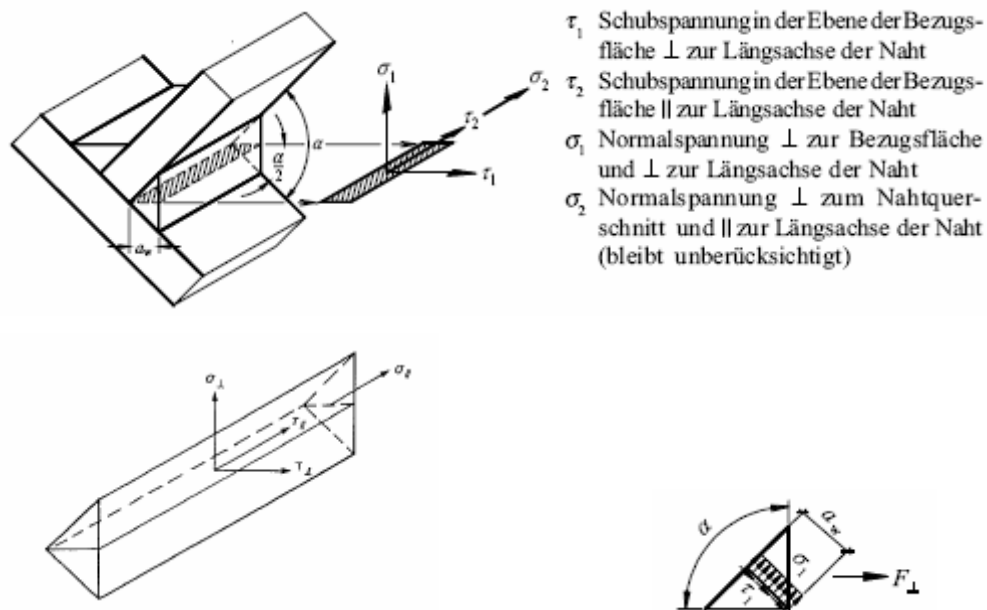
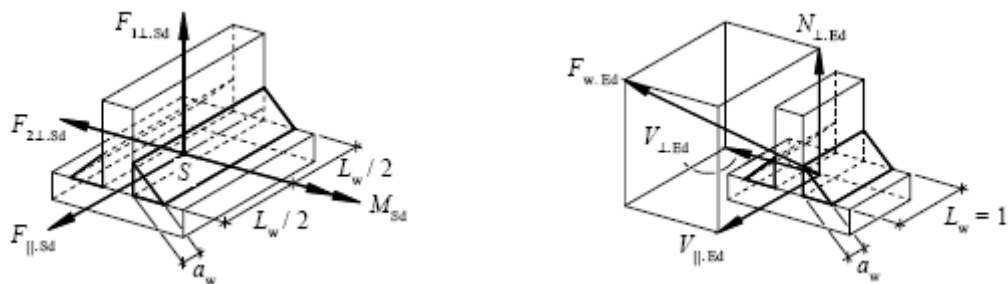


Abbildung 14: Kehlernahtspannungen nach Eurocode 3 aus [16]

### Nach EN 1993-1-8:2005 (D) 4.5.3.3 - Vereinfachtes Verfahren:



S Schwerpunkt der Naht

Beanspruchung des Nahtelementes mit  $L_w = 1$

Abbildung 15: Kehlernahtkräfte nach Eurocode 3 aus [16]

- am Zugflansch  $F_{\perp,Ed} = N_{Sd} / 2 + M_{y,Sd} / (h - t_f)$   
 $\leq N_{pl,f,Rd} = A_f \cdot f_y / 1,1$
- am Druckflansch  $F_{\perp,Ed} = N_{Sd} / 2 - M_{y,Sd} / (h - t_f)$
- am Steg  $F_{\parallel,Ed} = V_{z,Sd}$

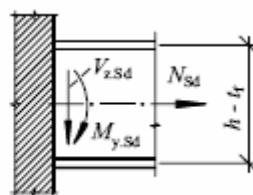


Abbildung 16: Kräfteaufteilung eines geschweißten biegesteifen Anschlusses aus [16]

## 2.4 Beispiel 3 – Nachweis eines geschweißten Stabanschlusses

### 2.4.1 Problemstellung

Es wird der geschweißte, mittige Anschluss zweier U140 Profile, mittels eines Knotenbleches, an einen HEB 500 nachgewiesen.

Alle Kehlnähte wurden durchgeschweißt und haben eine wirksame Stärke von 5mm.

Die Nahtgüte wurde nicht nachgewiesen.

Der Bemessungswert der ruhenden Zugbelastung der U – Profile beträgt 550 kN.

Alle verwendeten Materialien bestehen aus S235 (St 37).

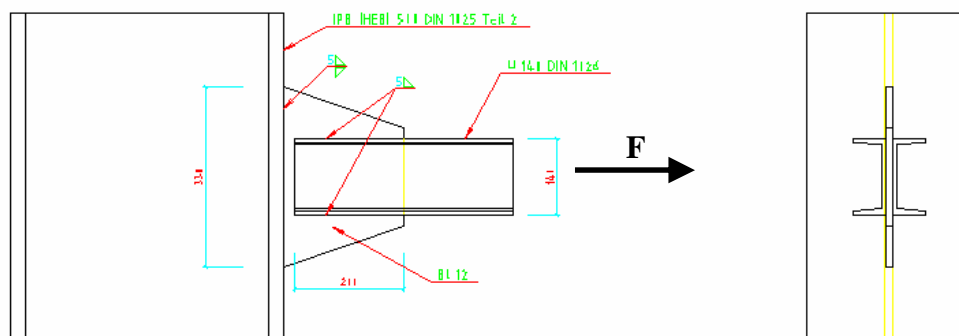


Abbildung 17: geschweißter Stabanschluss

benötigte Querschnittswerte:

HEB 500: Gurt:  $t = 28\text{mm}$   
Steg:  $s = 14,5\text{mm}$

U140: Gurt:  $t = 10\text{mm}$   
Steg:  $s = 7\text{mm}$   
Querschnittsfläche:  $A = 20,4\text{cm}^2$

Knotenblech: Blechstärke:  $t = 12\text{mm}$

## 2.4.2 Nachweis nach DIN 18800(11.90)

### 2.4.2.1 Nachweis des Zugstabes

U140 DIN 1026:  $A = 2 \cdot 2040\text{mm}^2 = 4080\text{mm}^2$

$$\sigma_{\perp} = \frac{F}{A} = \frac{550 \cdot 10^3 \text{ N}}{4080\text{mm}^2} = 134,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{Rd}} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{240 \text{ N/mm}^2}{1,1} = 218 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{\text{Rd}}} = \frac{134,8 \text{ N/mm}^2}{218 \text{ N/mm}^2} = 0,62 < 1 \quad \Rightarrow \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

Der Zugstab ist zu 62% ausgelastet.

### 2.4.2.2 Nachweis der Flankenkehlnähte

- Wirksame Schweißnahtlänge nach DIN 18800 T.1 (820) und (823):

$$\text{vorh } l = 200\text{mm} > 6 \cdot a = 6 \cdot 5\text{mm} = 30\text{mm}$$

$$> 30\text{mm}$$

$$< 150 \cdot a = 150 \cdot 5\text{mm} = 750\text{mm}$$

- Wirksame Schweißnahtstärke nach DIN 18800 T.1 (519):  $t = 10\text{mm} > 3\text{mm}$

$$2\text{mm} < a = 5\text{mm} < 0,7 \cdot \min t = 0,7 \cdot 10\text{mm} = 7\text{mm}$$

$$> \sqrt{\max t} - 0,5 = \sqrt{12\text{mm}} - 0,5 = 3\text{mm} \quad (\text{Empfehlung})$$

- Schweißnahtfläche:

$$A_w = 4 \cdot a \cdot l = 4 \cdot 5\text{mm} \cdot 200\text{mm} = 4000\text{mm}^2$$

- Spannungen:

$$\tau_{\parallel} = \frac{F}{A_w} = \frac{550 \cdot 10^3 \text{ N}}{4000 \text{ mm}^2} = 137,5 \text{ N/mm}^2 ; \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0$$

$$\sigma_{w,Rd} = \alpha_w \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = 0,95 \cdot \frac{240 \text{ N/mm}^2}{1,1} = 207 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau_{\parallel}}{\sigma_{w,Rd}} = \frac{137,5 \text{ N/mm}^2}{207 \text{ N/mm}^2} = 0,66 < 1 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Die Flankenkehlnähte sind zu 66% ausgelastet.

#### 2.4.2.3 Nachweis des Knotenbleches

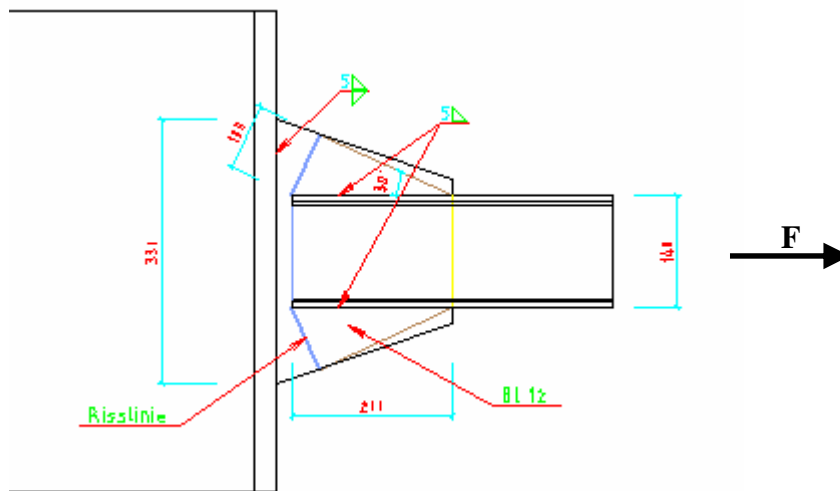


Abbildung 17: geschweißter Stabanschluss

$$\text{Risslinie: } l_{\text{Riss}} = 2 \cdot 200 \text{ mm} \cdot \sin 30^\circ + 140 \text{ mm} = 340 \text{ mm}$$

$$\sigma_{RN} = \frac{F}{l_{\text{Riss}} \cdot t_{\text{KN}}} = \frac{550 \cdot 10^3 \text{ N}}{340 \text{ mm} \cdot 12 \text{ mm}} = 135 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{RN}}{\sigma_{Rd}} = \frac{135 \text{ N/mm}^2}{218 \text{ N/mm}^2} = 0,62 < 1 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

#### 2.4.2.4 Nachweis Schweißnaht – Stütze

- Schweißnahtabmessung nach DIN 18800 T.1 (519):  $t = 12\text{mm} \geq 3\text{mm}$

- Nahtstärke:

$$2\text{mm} < a = 5\text{mm} < 0,7 \cdot \min t = 0,7 \cdot 12\text{mm} = 8,4\text{mm}$$

$$> \sqrt{\max t} - 0,5 = \sqrt{28\text{mm}} - 0,5 = 4,8\text{mm} \text{ (Empfehlung)}$$

- Schweißnahtfläche:

$$A_w = 2 \cdot a \cdot l = 2 \cdot 5\text{mm} \cdot 330\text{mm} = 3300\text{mm}^2$$

- Spannungen:

$$\sigma_{\perp} = \frac{F}{A_w} = \frac{550 \cdot 10^3 \text{ N}}{3300\text{mm}^2} = 166,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{w,Rd} = \alpha_w \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = 0,95 \cdot \frac{240 \text{ N/mm}^2}{1,1} = 207,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{w,Rd}} = \frac{166,7 \text{ N/mm}^2}{207,3 \text{ N/mm}^2} = 0,80 < 1 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Die Anschlussnaht des Knotenblechs an die Stütze ist zu 80% ausgelastet.

### 2.4.3 Nachweis nach Eurocode 3 (EN 1993-1-8:2005 (D))

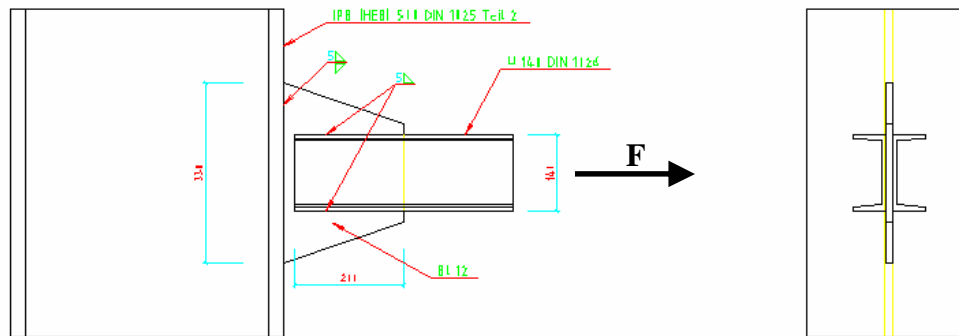


Abbildung 17: geschweißter Stabanschluss

#### 2.4.3.1 Aufnehmbare Kraft des Zugstabes nach EN 1993-1-1:2005 6.2.3

U140 DIN 1026:  $A = 2 \cdot 2040 \text{ mm}^2 = 4080 \text{ mm}^2$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4080 \text{ mm}^2 \cdot 235 \text{ N/mm}^2}{1,00} = 958800 \text{ N} = 958,80 \text{ kN}$$

$$\frac{550 \text{ kN}}{958,8 \text{ kN}} = 0,57 < 1,0$$

=> Nachweis erfüllt

#### 2.4.3.2 Nachweis der Flankenkehlnähte des U140 nach EN 1993-1-8:2005, 4.5

- Blechdicke:  $4\text{mm} < t_{\min} = 10\text{mm} < 30\text{mm}$

- Schweißnahtabmessung:

- Wirksame Schweißnahtlänge:

$$L_w = 200\text{mm} > 30\text{mm}$$

$$> 6 \cdot a_w = 6 \cdot 5\text{mm} = 30\text{mm}$$

$$L_w = 200\text{mm} < 150 \cdot a_w = 150 \cdot 5\text{mm} = 750\text{mm}$$

- Wirksame Schweißnahtdicke  $a_w$

$$a_w = 5\text{mm} > 3\text{mm}$$

- Schweißnahtfläche:

$$A_w = 4 \cdot a_w \cdot L_w = 4 \cdot 5\text{mm} \cdot 200\text{mm} = 4000\text{mm}^2 = 40\text{cm}^2$$

#### 2.4.3.3 Nachweis nach dem Richtungsbezogen Verfahren (EN 1993-1-8:2005, 4.5.3.2):

$$\sigma_{\perp} = 0$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F}{A_w} = \frac{550\text{kN}}{40\text{cm}^2} = 13,75\text{kN/cm}^2;$$

$$\left[ \sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2) \right]^{0,5} \leq \frac{f_u}{(\beta_w \cdot \gamma_{M2})}$$

$$\beta_w = 0,8 \quad (\text{Tab. 4.1 - S235})$$

$$f_u = 36\text{kN/cm}^2$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\left[ 0 + 3 \cdot \left( 0 + \left( 13,75\text{kN/cm}^2 \right)^2 \right) \right]^{0,5} = 23,82\text{kN/cm}^2 < \frac{36\text{kN/cm}^2}{(0,8 \cdot 1,25)} = 36\text{kN/cm}^2$$

$$\frac{23,82\text{kN/cm}^2}{36\text{kN/cm}^2} = 0,66 < 1,0$$

=> Nachweis erfüllt

#### 2.4.3.4 Nachweis nach dem Vereinfachten Verfahren (EN 1993-1-8:2005, 4.5.3.3):

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$$

Einwirkung:

$$F_{w,Ed} = \sqrt{N_{\perp,Ed}^2 + V_{\perp,Ed}^2 + V_{\parallel,Ed}^2}$$

$$V_{\parallel,Ed} = \frac{F_{\parallel,Sd}}{L_w} = \frac{550 \text{ kN}}{4 \cdot 20 \text{ cm}} = 6,88 \text{ kN/cm}$$

$$F_{w,Ed} = \sqrt{0 + 0 + (6,88 \text{ kN/cm})^2} = 6,88 \text{ kN/cm}$$

Tragfähigkeit:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a_w$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{36 \text{ kN/cm}^2 / \sqrt{3}}{0,8 \cdot 1,25} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

$$\beta_w = 0,8 \quad (\text{Tab. 4.1 - S235})$$

$$f_u = 36 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{Zugfestigkeit S235})$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$a_w = 0,5 \text{ cm}$$

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a_w = 20,78 \text{ kN/cm}^2 \cdot (0,5 \text{ cm}) = 10,39 \text{ kN/cm}$$

Nachweis:

$$F_{w,Ed} = 6,88 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 10,39 \text{ kN/cm}$$

$$\frac{6,88 \text{ kN/cm}}{10,39 \text{ kN/cm}} = 0,66 < 1,0$$

=> Nachweis erfüllt

Die Flankenkehlnähte sind zu 66% ausgelastet.



#### 2.4.3.5 Aufnehmbare Kraft des Knotenblechs nach EN 1993-1-1:2005 6.2.3

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

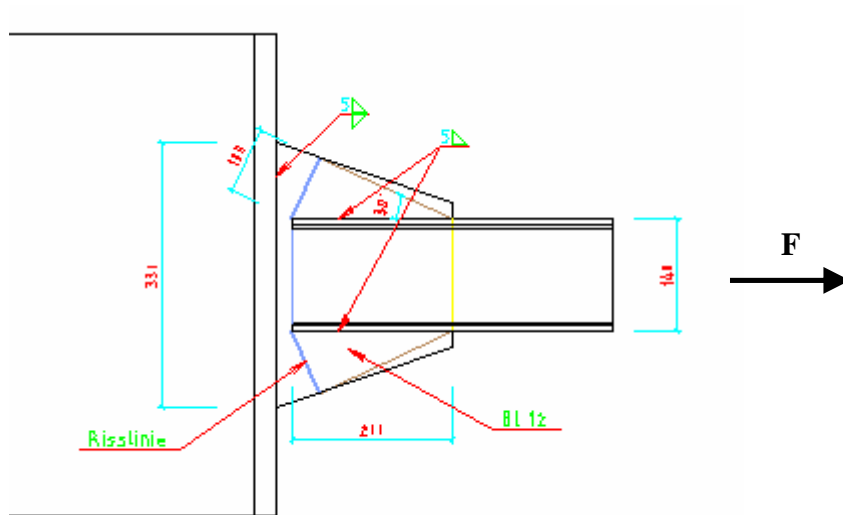


Abbildung 17: geschweißter Stabanschluss

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\text{Risslinie: } l_{Riss} = 2 \cdot 200\text{mm} \cdot \sin 30^\circ + 140\text{mm} = 340\text{mm}$$

$$A = t_{Kb} \cdot l_{Riss} = 12\text{mm} \cdot 340\text{mm} = 4080\text{mm}^2 = 40,80\text{cm}^2$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{40,80\text{cm}^2 \cdot 23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,00} = 958,80\text{kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{550\text{kN}}{958,8\text{kN}} = 0,57 < 1,0$$

=> Nachweis erfüllt

2.4.3.6 Nachweis der Kehlnaht Stütze - Knotenblech (Richtungsbezogenes Verfahren nach EN 1993-1-8:2005, 4.5.3.2):

- Schweißnahtfläche:

$$A_w = 2 \cdot a_w \cdot L_w = 2 \cdot 5 \text{ mm} \cdot 330 \text{ mm} = 3300 \text{ mm}^2 = 33 \text{ cm}^2$$

- Spannungen:

$$\tau_{\parallel} = 0$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{F_{\perp, Ed}}{A_w} \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{550 \text{ kN}}{33 \text{ cm}^2} \cdot \sin\left(\frac{90^\circ}{2}\right) = 11,79 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\perp} = \frac{F_{\perp, Ed}}{A_w} \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{550 \text{ kN}}{33 \text{ cm}^2} \cdot \cos\left(\frac{90^\circ}{2}\right) = 11,79 \text{ kN/cm}^2$$

- Nachweise:

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\sigma_{\perp} = 11,79 \text{ kN/cm}^2 < 0,9 \cdot \frac{36 \text{ kN/cm}^2}{1,25} = 25,92 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{11,79 \text{ kN/cm}^2}{25,92 \text{ kN/cm}^2} = 0,46 < 1,0$$

=> Nachweis erfüllt

$$\left[ \sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2) \right]^{0,5} \leq \frac{f_u}{(\beta_w \cdot \gamma_{M2})}$$

$$\beta_w = 0,8 \quad (\text{Tab. 4.1 - S235})$$

$$f_u = 36 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{Zugfestigkeit S235})$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$a_w = 0,5 \text{ cm}$$

$$\left[ \left( 11,79 \text{ kN/cm}^2 \right)^2 + 3 \cdot \left( \left( 11,79 \text{ kN/cm}^2 \right)^2 + 0 \right) \right]^{0,5} = 23,58 \text{ kN/cm}^2 < \frac{36 \text{ kN/cm}^2}{(0,8 \cdot 1,25)} = 36 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{23,58 \text{ kN/cm}^2}{36 \text{ kN/cm}^2} = 0,66 < 1,0$$

=> Nachweise erfüllt

Die Anschlussnaht des Knotenblechs an die Stütze ist zu 66% ausgelastet.

#### 2.4.3.7 Nachweis der Kehlnaht Stütze - Knotenblech (Vereinfachtes Verfahren nach EN 1993-1-8:2005, 4.5.3.3):

Einwirkung:

$$F_{w,Ed} = \sqrt{N_{\perp,Ed}^2 + V_{\perp,Ed}^2 + V_{\parallel,Ed}^2}$$

$$N_{\perp,Ed} = \frac{F_{\perp,Ed}}{L_w} = \frac{550 \text{ kN}}{2 \cdot 33 \text{ cm}} = 8,33 \text{ kN/cm}$$

$$F_{w,Ed} = \sqrt{(8,33 \text{ kN/cm})^2 + 0 + 0} = 8,33 \text{ kN/cm}$$

Tragfähigkeit:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a_w$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{36 \text{ kN/cm}^2 / \sqrt{3}}{0,8 \cdot 1,25} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

$$\beta_w = 0,8 \quad (\text{Tab. 4.1 - S235})$$

$$f_u = 36 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{Zugfestigkeit S235})$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$a_w = 0,5 \text{ cm}$$

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a_w = 20,78 \text{ kN/cm}^2 \cdot 0,5 \text{ cm} = 10,39 \text{ kN/cm}$$

Nachweis:

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$$

$$F_{w,Ed} = 8,33 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 10,39 \text{ kN/cm}$$

$$\frac{8,33 \text{ kN/cm}}{10,39 \text{ kN/cm}} = 0,80 < 1,0$$

=> Nachweis erfüllt

Die Anschlussnaht des Knotenbleches an die Stütze ist zu 80% ausgelastet.

#### 2.4.4 Auswertung (Beispiel 3)

Der Zugstab (U140) und des Knotenblech sind nach EC3 um 5 % weniger ausgelastet als nach DIN 18800. Dies liegt an dem kleineren Teilsicherheitsbeiwert von 1,0 nach EC3 zu 1,1 nach DIN 18800.

Der Nachweis der Schweißnähte kann nach EC3 mit 2 verschiedenen Berechnungsverfahren, dem Richtungsbezogenen und dem Vereinfachten Verfahren, geführt werden.

In diesem Beispiel wurden beide Verfahren angewandt.

Die Flankenkehlnähte des U140 sind nach beiden Berechnungsverfahren des EC3 und auch nach DIN 18800 zu 66 % ausgelastet.

Die Auslastung der Naht Stütze – Knotenblech ist nach dem Vereinfachten Verfahren des EC3 und nach DIN 18800 gleich.

Bei dem Richtungsbezogenen Verfahren des EC3 hingegen ist die Naht um 14 % weniger belastet, dies wird durch die Verfahrensbedingte Berechnung der Beanspruchung senkrecht zur Nahtachse verursacht.

## 2.5 Beispiel 4 – Nachweis eines geschweißten Trägeranschlusses

### 2.6.1 Problemstellung

Es sind die Kehlnähte eines mittig angeschweißten IPE 400 an einen HEA 400 nachzuweisen. Die Kehlnähte des IPE 400 haben eine wirksame Stärke von 5mm, wobei die Nahtgüte nicht nachgewiesen wurde.

Die eingeschweißten Rippen mit ihrer Nahtdicke und Form werden als ausreichend angenommen und hier nicht extra berechnet.

Es besteht außerdem keine Gefahr eines Terrassenbruches.

Der geschweißte Anschluss wird mit einem Moment von 130 kNm, einer Querkraft von 180 kN und einer Zugkraft von 95 kN belastet (siehe Bild).

Die angegebenen Werte sind Bemessungswerte.

Alle verwendeten Materialien bestehen aus S235 (St 37).

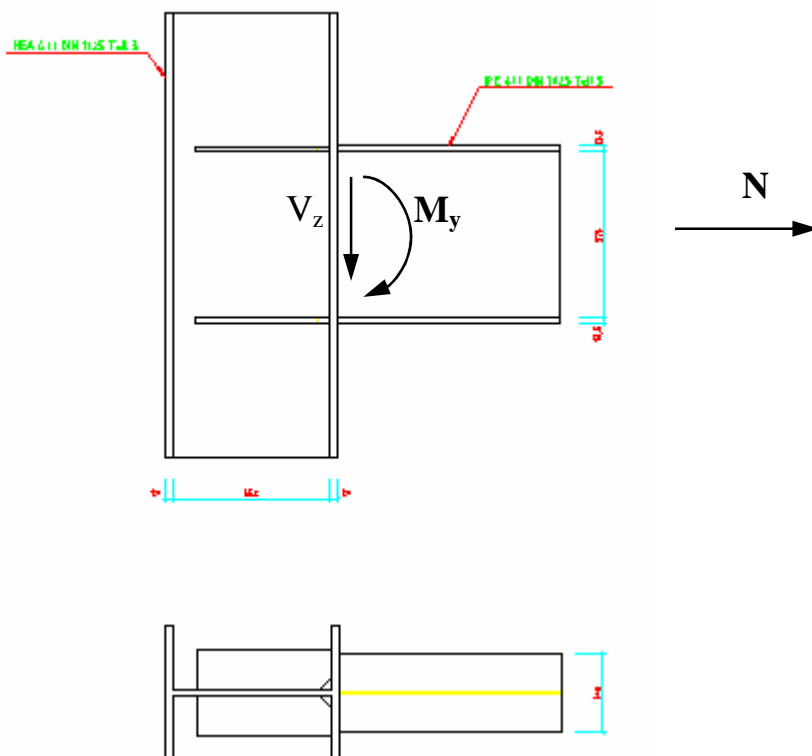


Abbildung 18: geschweißter Trägerstoß

benötigte Querschnittswerte:

HEA 400:     Gurt:  $t = 19\text{mm}$   
                 Steg:  $s = 11\text{mm}$   
                 Breite:  $b = 300\text{mm}$   
IPE 400:     Gurt:  $t = 13,5\text{mm}$   
                 Steg:  $s = 8,6\text{mm}$   
                 Breite:  $b = 180\text{mm}$

## **2.6.2 Nachweis nach DIN 18800 (11.90)**

### **2.6.2.1 Vereinfachte Nachweismöglichkeit nach DIN 18800 Teil 1 (833)**

- kein weiterer Tragsicherheitsnachweis der Schweißnähte notwendig, wenn

$$a_{\text{Steg}} \geq 0,5 \cdot t_s : \quad a_{\text{Steg}} = 5\text{mm} > 0,5 \cdot t_s = 0,5 \cdot 8,6\text{mm} = 4,3\text{mm}$$

$$a_{\text{Gurt}} \geq 0,5 \cdot t_F : \quad a_{\text{Gurt}} = 5\text{mm} < 0,5 \cdot t_F = 0,5 \cdot 13,5\text{mm} = 6,75\text{mm}$$

=> Tragsicherheitsnachweis der Schweißnähte notwendig

### 2.6.2.2 Nachweis mit vereinfachter Schnittgrößenverteilung nach DIN 18800 Teil 1 (801)

Es wird angenommen, dass die Stegkehlnähte die Querkraft und die Gurtkehlnähte das Biegemoment und die Längskraft aufnehmen.

$$\text{Zuggurt: } N_z = \frac{N}{2} + \frac{M_y}{(h - t_f)} = \frac{95 \text{ kN}}{2} + \frac{130 \text{ kNm}}{(0,4 \text{ m} - 0,0135 \text{ m})} = 383,9 \text{ kN}$$

$$\text{Gurtnahtlänge: } l = 180 \text{ mm} \text{ bzw. } l = \frac{(b - s - 2 \cdot r)}{2} = \frac{(180 \text{ mm} - 8,6 \text{ mm} - 2 \cdot 21 \text{ mm})}{2} = 65 \text{ mm}$$

$$\text{Schweißnahtfläche: } A_{w, \text{Gurt}} = a \cdot (b + 2 \cdot l) = 5 \text{ mm} \cdot (180 \text{ mm} + 2 \cdot 65 \text{ mm}) = 1550 \text{ mm}^2$$

- Wirksame Schweißnahtlänge nach DIN 18800 T.1 (820) und (823):

$$\text{vorh } l = 65 \text{ mm} > 6 \cdot a = 6 \cdot 5 \text{ mm} = 30 \text{ mm}$$

$$> 30 \text{ mm}$$

$$< 150 \cdot a = 150 \cdot 5 \text{ mm} = 750 \text{ mm}$$

$$\text{vorh } l = 180 \text{ mm} < 150 \cdot a = 150 \cdot 5 \text{ mm} = 750 \text{ mm}$$

- Wirksame Schweißnahtstärke nach DIN 18800 T.1 (519):

$$t_{\min} = 8,6 \text{ mm} > 3 \text{ mm}$$

$$2 \text{ mm} < a = 5 \text{ mm} < 0,7 \cdot \min t = 0,7 \cdot 8,6 \text{ mm} = 6 \text{ mm}$$

$$> \sqrt{\max t} - 0,5 = \sqrt{13,5 \text{ mm}} - 0,5 = 3,2 \text{ mm} \text{ (Empfehlung)}$$

=> Bedingungen erfüllt

Nachweis:

$$\sigma_{\perp} = \frac{N_z}{A_{w, \text{Gurt}}} = \frac{383,9 \cdot 10^3 \text{ N}}{1550 \text{ mm}^2} = 247,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{w, \text{Rd}} = \alpha_w \cdot \frac{f_{y, k}}{\gamma_M} = 0,95 \cdot \frac{240 \text{ N/mm}^2}{1,1} = 207,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{w, \text{Rd}}} = \frac{247,7 \text{ N/mm}^2}{207,3 \text{ N/mm}^2} = 1,19 > 1$$

=> **Nachweis nicht erfüllt**

=> Genaues Nachweisverfahren notwendig.

### 2.6.2.3 Genauer Nachweis

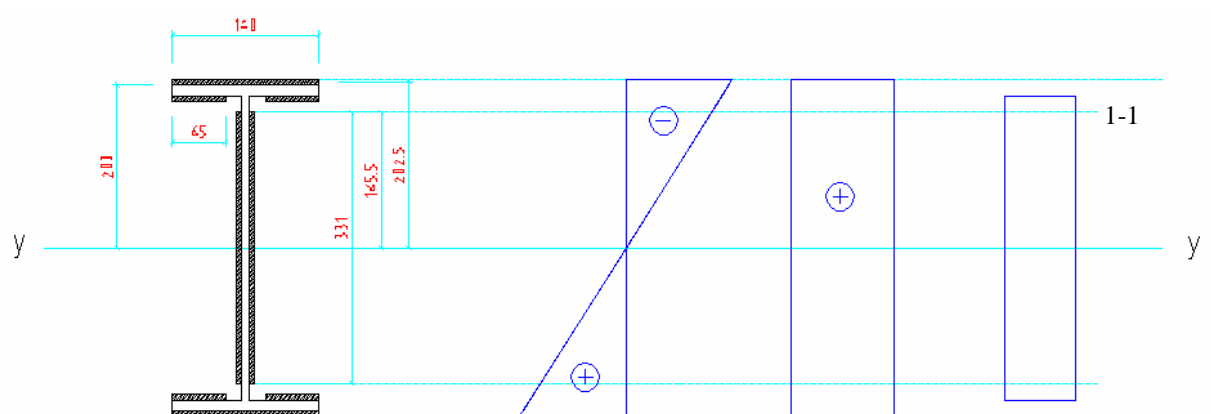


Abbildung 19: Spannungen

$$\sigma_{\perp} = \frac{M_y}{I_{w,y}} \cdot z$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{N}{A_w}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_z}{A_{w,Steg}}$$

### 2.6.2.4 Querschnittswerte der Schweißnähte:

$$A_{w,Steg} = 2 \cdot a \cdot l_{Steg} = 2 \cdot 5 \text{ mm} \cdot 331 \text{ mm} = 3310 \text{ mm}^2$$

$$A_w = 3310 \text{ mm}^2 + 2 \cdot 5 \text{ mm} \cdot 65 \text{ mm} + 2 \cdot 5 \text{ mm} \cdot 180 \text{ mm} = 6410 \text{ mm}^2$$

$$I_w = \sum I_{w,eigen} + \sum A_w \cdot e^2$$

$$I_{w,y} = 2 \cdot 5 \text{ mm} \cdot 180 \text{ mm} \cdot (202,5 \text{ mm})^2 + 4 \cdot 5 \text{ mm} \cdot 65 \text{ mm} \cdot (184 \text{ mm})^2$$

$$+ 2 \cdot 5 \text{ mm} \cdot \frac{(331 \text{ mm})^3}{12} = 148044626 \text{ mm}^4 = 14804,5 \text{ cm}^4$$

### 2.6.2.5 Nachweise (el-el):

oberste Faser:

$$\sigma_{\perp} = \frac{M_y}{I_{w,y}} \cdot \frac{h_1}{2} + \frac{N}{A_w} = \frac{130 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{148 \cdot 10^6 \text{ mm}^4} \cdot \frac{410 \text{ mm}}{2} + \frac{95 \cdot 10^3}{6410 \text{ mm}^2} = 194,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_z}{A_{w,Steg}} = \frac{180 \cdot 10^3 \text{ N}}{3310 \text{ mm}^2} = 54,38 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{w,Rd} = 0,95 \cdot \frac{240 \text{ N/mm}^2}{1,1} = 207 \text{ N/mm}^2$$



- Nachweis obere Faser:

$$\frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{w,Rd}} = \frac{194,9 \text{ N/mm}^2}{207 \text{ N/mm}^2} = 0,94 < 1 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

- Vergleichsspannungsnachweis:

$$\sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{\left(194,9 \text{ N/mm}^2\right)^2 + \left(54,38 \text{ N/mm}^2\right)^2} = 202,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,Rd}} = \frac{202,4 \text{ N/mm}^2}{207 \text{ N/mm}^2} = 0,98 < 1$$

$\Rightarrow$  Nachweis erfüllt

- Nachweis für die Faser 1-1:

$$\sigma_{\perp} = \frac{130 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{148 \cdot 10^6 \text{ mm}^4} \cdot \frac{331 \text{ mm}}{2} + \frac{95 \cdot 10^3}{6410 \text{ mm}^2} = 160,2 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{w,Rd}} = \frac{160,2 \text{ N/mm}^2}{207 \text{ N/mm}^2} = 0,77 < 1$$

- Vergleichsspannungsnachweis:

$$\sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{\left(160,2 \text{ N/mm}^2\right)^2 + \left(54,38 \text{ N/mm}^2\right)^2} = 169,2 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,Rd}} = \frac{169,2 \text{ N/mm}^2}{207 \text{ N/mm}^2} = 0,82 < 1$$

$\Rightarrow$  alle Nachweise erfüllt

Die obere Schweißnaht ist maßgebend und zu 98% ausgelastet.

### 2.6.3 Nachweis nach Eurocode 3 (EN 1993-1-8:2005 (D))

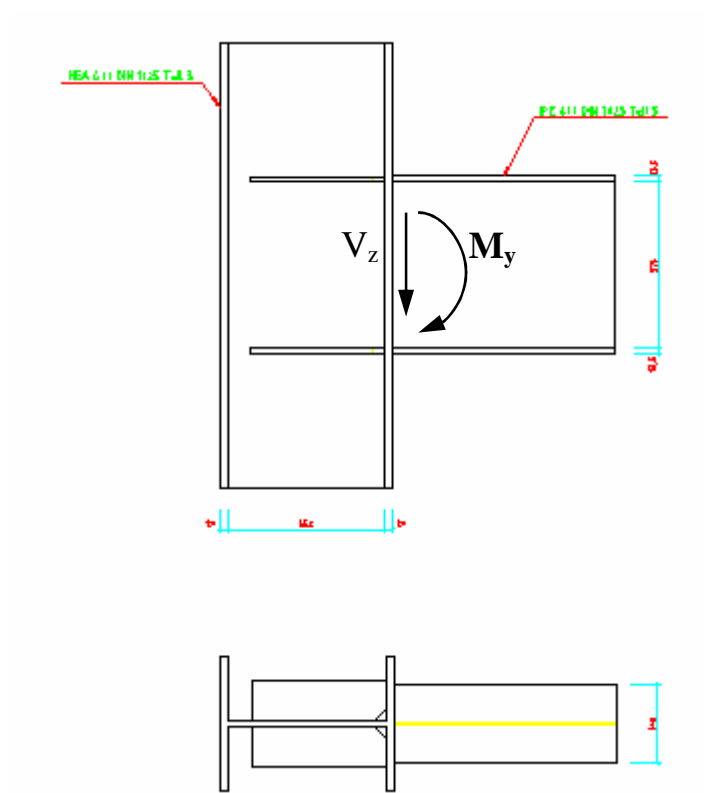


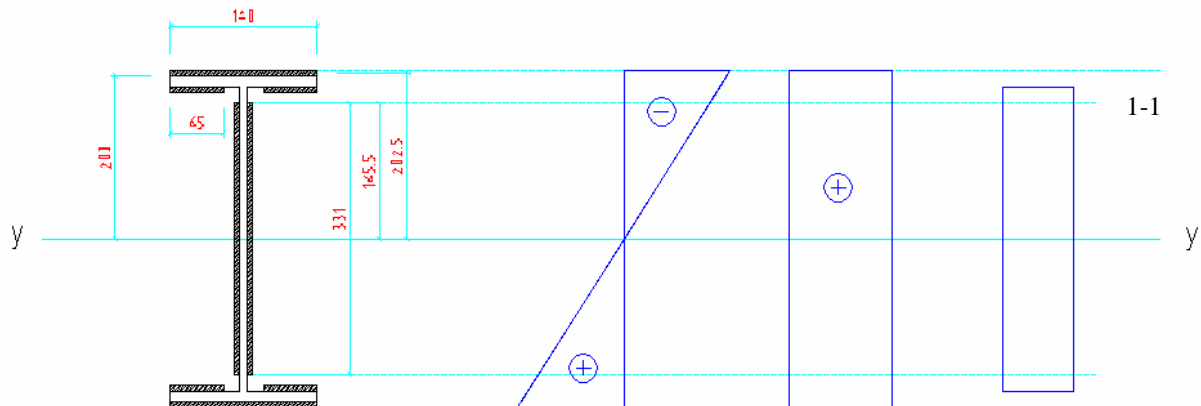
Abbildung 18: geschweißter Trägerstoß

benötigte Querschnittswerte:

HEA 400:     Gurt:  $t = 19\text{mm}$   
               Steg:  $s = 11\text{mm}$   
               Breite:  $b = 300\text{mm}$   
IPE 400:     Gurt:  $t = 13,5\text{mm}$   
               Steg:  $s = 8,6\text{mm}$   
               Breite:  $b = 180\text{mm}$

$$\begin{aligned} A_{w, \text{Steg}} &= 2 \cdot a \cdot l_{\text{Steg}} = 2 \cdot 5 \text{ mm} \cdot 331 \text{ mm} = 3310 \text{ mm}^2 \\ A_w &= 3310 \text{ mm}^2 + 2 \cdot 5 \text{ mm} \cdot 65 \text{ mm} + 2 \cdot 5 \text{ mm} \cdot 180 \text{ mm} = 6410 \text{ mm}^2 \\ I_w &= \sum I_{w, \text{eigen}} + \sum A_w \cdot e^2 \\ I_{w, y} &= 2 \cdot 5 \text{ mm} \cdot 180 \text{ mm} \cdot (202,5 \text{ mm})^2 + 4 \cdot 5 \text{ mm} \cdot 65 \text{ mm} \cdot (184 \text{ mm})^2 \\ &\quad + 2 \cdot 5 \text{ mm} \cdot \frac{(331 \text{ mm})^3}{12} = 148044626 \text{ mm}^4 = 14804,5 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

#### 2.6.3.2 Spannungen des Anschlusses:



### Abbildung 19: Spannungen

$$\sigma_{\perp, \text{Sd}} = \frac{M_y}{I_{w,y}} \cdot z \quad \sigma_{\perp, \text{Sd}} = \frac{N}{A_w} \quad \tau_{\parallel} = \frac{V_z}{A_{w, \text{Steg}}}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_z}{A_{w, \text{Steg}}} = \frac{180 \cdot 10^3 \text{ N}}{3310 \text{ mm}^2} = 54,38 \text{ N/mm}^2 = 5,44 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{\perp, Sd} = \frac{M_y}{I_{w,y}} \cdot \frac{h_1}{2} + \frac{N}{A_w} = \frac{130 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{148 \cdot 10^6 \text{ mm}^4} \cdot \frac{410 \text{ mm}}{2} + \frac{95 \cdot 10^3}{6410 \text{ mm}^2} = 194,9 \text{ N/mm}^2 = 19,49 \text{ kN/cm}^2$$

### 2.6.3.3 Nachweis der Flankenkehlnähte des IPE 400 nach EN 1993-1-8:2005, 4.5

- Blechdicke:  $4\text{mm} < t_{\min} = s = 8,6\text{mm} < 30\text{mm}$

- Schweißnahtabmessung:

- Wirksame Schweißnahtlänge  $L_w$ :

$$L_w = 65\text{mm} > 30\text{mm}$$

$$> 6 \cdot a_w = 6 \cdot 5\text{mm} = 30\text{mm}$$

- Wirksame Schweißnahtdicke  $a_w$

$$a_w = 5\text{mm} > 3\text{mm}$$

### 2.6.3.4 Nachweis nach dem Richtungsbezogenen Verfahren (EN 1993-1-8:2005, 4.5.3.2):

Nachweis der Gurtnaht (oberste Faser):

- Spannungen:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_z}{A_{w,\text{Steg}}} = \frac{180 \cdot 10^3 \text{ N}}{3310 \text{ mm}^2} = 54,38 \text{ N/mm}^2 = 5,44 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma_{\perp,\text{Sd}} \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$\text{mit: } \sigma_{\perp,\text{Sd}} = 19,49 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = 19,49 \text{ kN/cm}^2 \cdot \sin\left(\frac{90^\circ}{2}\right) = 13,78 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp,\text{Sd}} \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$\text{mit: } \sigma_{\perp,\text{Sd}} = 19,49 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\perp} = 19,49 \text{ kN/cm}^2 \cdot \cos\left(\frac{90^\circ}{2}\right) = 13,78 \text{ kN/cm}^2$$

- Nachweise:

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$13,78 \text{ kN/cm}^2 < 0,9 \cdot \frac{36 \text{ kN/cm}^2}{1,25} = 25,92 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{13,78 \text{ kN/cm}^2}{25,92 \text{ kN/cm}^2} = 0,53 < 1,0$$

=> Nachweis erfüllt

$$\left[ \sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2) \right]^{0,5} \leq \frac{f_u}{(\beta_w \cdot \gamma_{M2})}$$

$$\beta_w = 0,8 \quad (\text{Tab. 4.1 - S235})$$

$$f_u = 36 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{Zugfestigkeit S235})$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$a_w = 0,5 \text{ cm}$$

$$\left[ \left( 13,78 \text{ kN/cm}^2 \right)^2 + 3 \cdot \left( \left( 13,78 \text{ kN/cm}^2 \right)^2 + \left( 5,44 \text{ kN/cm}^2 \right)^2 \right) \right]^{0,5} = 29,13 \text{ kN/cm}^2 < \frac{36 \text{ kN/cm}^2}{(0,8 \cdot 1,25)} = 36 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{29,13 \text{ kN/cm}^2}{36 \text{ kN/cm}^2} = 0,81 < 1,0$$

=> Nachweis erfüllt

Die obere Schweißnaht ist maßgebend und zu 81% ausgelastet.

### 2.6.3.5 Nachweis nach dem Vereinfachtes Verfahren nach EN 1993-1-8:2005, 4.5.3.3:

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$$

Nachweis der Gurtnaht (oberste Faser):

- Einwirkung:

Zuggurt:

$$F_{\perp,Sd} = \frac{N}{2} + \frac{M_y}{(h - t_f)} = \frac{95\text{kN}}{2} + \frac{130\text{kNm}}{(0,4\text{m} - 0,0135\text{m})} = 383,9\text{kN}$$

- Gurtnahtlänge:

$$L_w = 18,0\text{cm} + 2 \cdot \frac{(b - s - 2 \cdot r)}{2} = 18,0\text{cm} + 2 \cdot \frac{(18,0\text{cm} - 0,86\text{cm} - 2 \cdot 2,1\text{cm})}{2} = 31,0\text{cm}$$

- Beanspruchung je cm:

$$N_{\perp,Ed} = \frac{F_{\perp,Sd}}{L_w} = \frac{383,9\text{kN}}{31\text{cm}} = 12,38\text{kN/cm}$$

$$F_{w,Ed} = \sqrt{N_{\perp,Ed}^2 + V_{\perp,Ed}^2 + V_{\parallel,Ed}^2}$$

$$F_{w,Ed} = \sqrt{(12,38\text{kN})^2 + 0 + 0} = 12,38\text{kN}$$

Tragfähigkeit:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a_w$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{36 \text{ kN/cm}^2 / \sqrt{3}}{0,8 \cdot 1,25} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

$$\beta_w = 0,8 \quad (\text{Tab. 4.1 - S235})$$

$$f_u = 36 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{Zugfestigkeit S235})$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$a_w = 0,5 \text{ cm}$$

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 20,78 \text{ kN/cm}^2 \cdot 0,5 \text{ cm} = 10,39 \text{ kN/cm}$$

$$F_{w,Ed} = 12,38 \text{ kN/cm} > F_{w,Rd} = 10,39 \text{ kN/cm}$$

$$\frac{12,38 \text{ kN/cm}}{10,39 \text{ kN/cm}} = 1,19 > 1,0$$

**=> Nachweis nicht erfüllt**

Der Nachweis ist jedoch dem Richtungsbezogenen Verfahren nach erfüllt.

#### **2.6.4 Auswertung (Beispiel 4)**

Das Nachweisverfahren der Vereinfachten Schnittgrößenaufteilung nach DIN 18800 Teil 1 (801) und der Vereinfachte Nachweis nach EN 1993-1-8:2005, 4.5.3.3 erzielen in diesem Beispiel die gleichen Ergebnisse.

Nach beiden Verfahren werden die Normalkräfte und das Moment auf die Gurte aufgeteilt.

Dabei kam eine Überlastung des Zuggurtes von 19 % zustande.

Erst mit der genaueren Berechnung nach DIN 18800 und dem Richtungsbezogenen Verfahren nach Eurocode 3 wurden die Nachweise erfüllt.

Diese beiden Verfahren beziehen sich auf die Spannungen resultierend aus dem Flächenträgheitsmoment (2. Grades) der Schweißnaht.

Trotz dieser gleichen Berechnungsgrundlage ergaben sich unterschiedliche Auslastungen der Nähte von 98 % nach DIN und 81 % nach Eurocode.

Diese unterschiedlichen Auslastungen werden hauptsächlich durch den Einsatz der Zugfestigkeit nach Eurocode anstelle der Streckgrenze nach DIN verursacht.



### **3     Bemessung biegebeanspruchter Träger**

#### **3.1    Einleitung**

Es wird in diesem Abschnitt das Nachweisverfahren elastisch – elastisch der DIN 18800 (11.90) und das plastische Nachweisverfahren des Eurocode 3 anhand von ausgewählten Beispielen verglichen.

Dabei handelt es sich um biegebeanspruchte Einfeldträger der Querschnittsklasse 1 und 2.

Es sind doppelsymmetrische Vollwandträger, welche weder durch Löcher oder Aussparungen geschwächt sind.

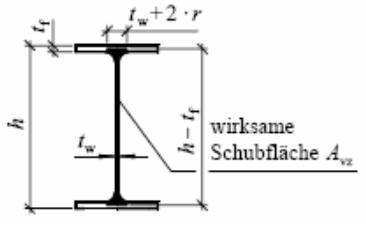
Sie werden ausschließlich durch Biegung und Querkraft um die Hauptachse belastet.

Auf den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit wird in den folgenden Beispielen verzichtet.

Er ist bei Bedarf nach den allgemeinen Regeln der Technik durchzuführen.

### 3.2 Ausgewählte Unterschiede zwischen DIN 18800 und Eurocode 3

	DIN DIN 18800 (11.90)	EC 3 EN 1993-1-1:2005 (D)
Streckgrenze Grundwerkstoff	$f_y$	$f_y$
Zugfestigkeit Grundwerkstoff	$f_u$	$f_u$
Grundwerkstoffe	St 37 $f_{y,k} = 240 \text{ N/mm}^2$ St 52 $f_{y,k} = 360 \text{ N/mm}^2$	S235 $f_u = 235 \text{ N/mm}^2$ S355 $f_u = 355 \text{ N/mm}^2$
Einwirkungen (ungünstig wirkend): - ständige mit Teilsicherheitsbeiwert - veränderliche mit Teilsicherheitsbeiwert - außergewöhnliche mit Teilsicherheitsbeiwert	$G_k$ $\gamma_F = 1,35$ $Q_k$ $\gamma_F = 1,5$ $F_A$ $\gamma_F = 1,0$	$G_k$ $\gamma_{G,sup} = 1,35$ $Q_k$ $\gamma_Q = 1,5$ $A_k$ $\gamma_A = 1,0$
Teilsicherheitsbeiwert der Beanspruchbarkeit	$\gamma_M = 1,1$	$\gamma_{M0} = 1,00$
Biegenachweis	$\frac{\sigma_d}{\sigma_{Rd}} \leq 1$ mit $\sigma_{Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M}$	$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$ mit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$

<p>Querkraftnachweis für gewalzte I - Profile</p>	$\frac{\tau_d}{\tau_{Rd}} \leq 1$ <p>mit:</p> $\tau = \frac{V_z}{A_{Steg}}$ $\tau_{Rd} = \frac{f_{y,k}}{(\sqrt{3} \cdot \gamma_M)}$ <p>für <math>\frac{A_{Gurt}}{A_{Steg}} &gt; 0,6</math></p> $A_{Steg} = (h - t) \cdot s$	$V_{Ed} \leq V_{c,Rd}$ <p>mit: <math>V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}}</math></p> $A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$  <p>Abbildung 20: wirksame Schubfläche</p>
<p>Einfluss der Querkraft</p>	<p>wenn <math>\frac{\sigma_d}{\sigma_{Rd}} \geq 0,5</math> oder</p> $\frac{\tau_d}{\tau_{Rd}} \geq 0,5$ <p>Vergleichsspannungsnachweis</p> $\frac{\sigma_v}{\sigma_{Rd}} \leq 1$ <p>mit <math>\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}</math></p>	<p>wenn <math>V_{Sd} \geq 0,5 \cdot V_{pl,Rd}</math></p> <p>Abminderung des Grenzmomentes</p> $\frac{M_{Ed}}{M_{Vy,Rd}} \leq 1$ <p>mit:</p> $M_{y,V,Rd} = \frac{\left[ W_{pl,y} - \frac{\rho \cdot A_w^2}{4 \cdot t_w} \right] \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ $\rho = \left( \frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$ <p>aber <math>M_{y,V,Rd} \leq M_{y,c,Rd}</math></p>
<p>Querschnittstragfähigkeit</p>	<p>Es werden die vorhandenen Schlankheiten mit den Grenzwerten (grenz <math>b/t</math>) verglichen.</p>	<p>Die Querschnitte werden über ihre Schlankheiten in Querschnittsklassen (QSKL) eingeteilt, in Abhängigkeit dieser wird das Berechnungs- und Bemessungsverfahren bestimmt.</p>

### 3.3 Klassifizierung von Querschnitten nach DIN EN 1993-1-1, 5.5

Mit der Klassifizierung von Querschnitten soll die Begrenzung der Beanspruchbarkeit und Rotationskapazität durch lokales Beulen von Querschnittsteilen festgestellt werden.

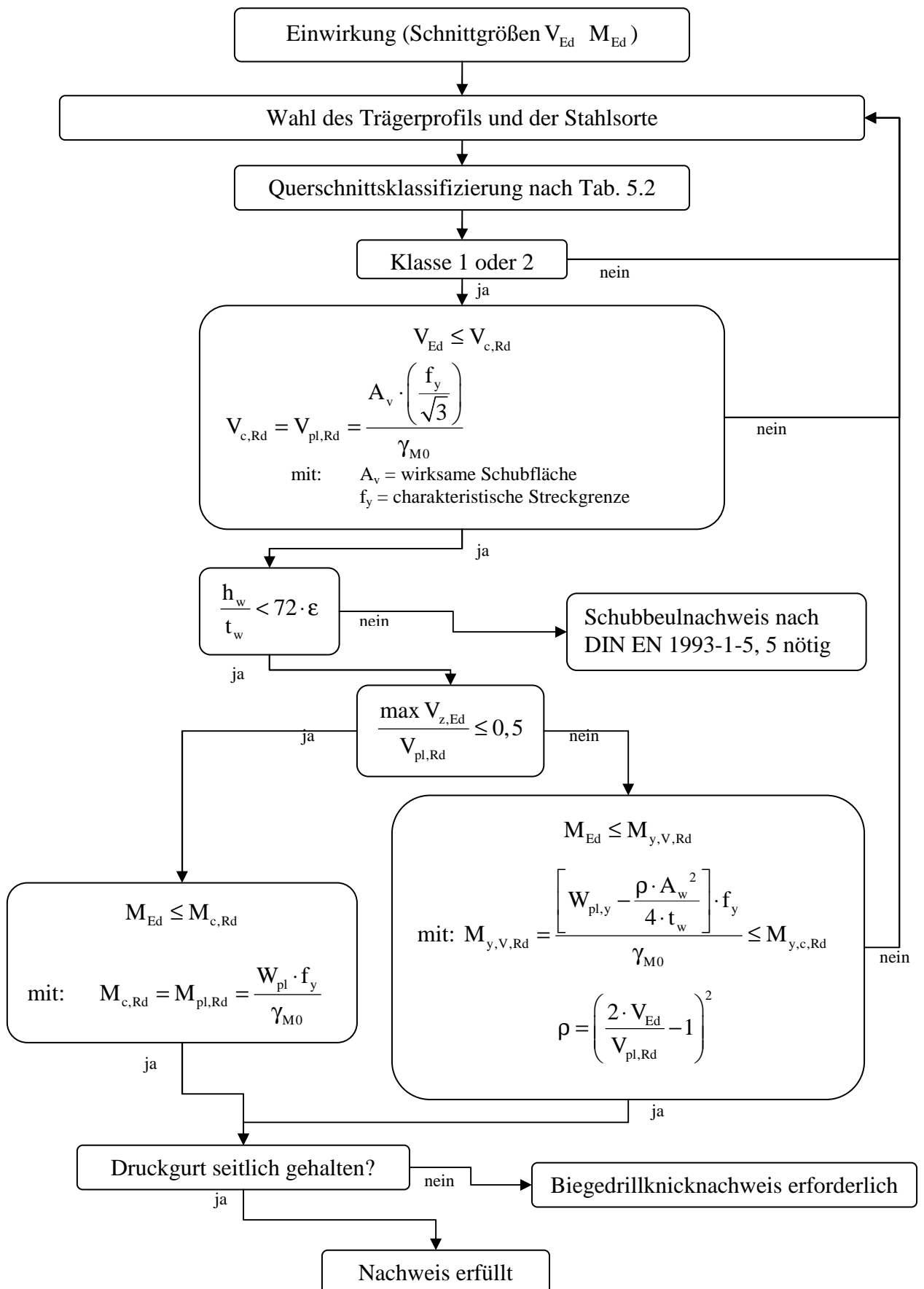
Es werden vier Querschnittsklassen nach EN 1993-1-1:2005 (D) definiert:

- Querschnitte der Klasse 1 können plastische Gelenke oder Fließzonen mit ausreichender plastischer Momententragfähigkeit und Rotationskapazität für die plastischen Berechnung ausbilden.
- Querschnitte der Klasse 2 können die plastische Momententragfähigkeit entwickeln, haben aber aufgrund örtlichen Beulens nur eine begrenzte Rotationskapazität.
- Querschnitte der Klasse 3 erreichen für eine elastische Spannungsverteilung die Streckgrenze in der ungünstigsten Querschnittsfaser, können aber wegen örtlichen Beulens die plastische Momententragfähigkeit nicht entwickeln.
- Querschnitte der Klasse 4 sind solche, bei denen örtliches Beulen vor Erreichen der Streckgrenze in einem oder mehreren Teilen des Querschnitts auftritt.

Querschnitts- klasse	M - $\theta$ - Verlauf	Grenzspannungsverteilung
1		
2		
3		
4		

Abbildung 21: Rotations- Momentenverlauf und Grenzspannungsverteilung

### 3.4 Nachweisschema nach EN 1993-1-1:2005 (D):



### 3.5 Beispiel 5 – Bemessung eines Unterzuges

#### 3.5.1 Problemstellung und Schnittgrößen

Ein gelenkig gelagerter Unterzug aus der IPE - Reihe wird in den Drittelpunkten durch Deckenträger belastet. Der Unterzug hat eine Gesamtlänge von 6,0 m und ist durchgängig seitlich gehalten.

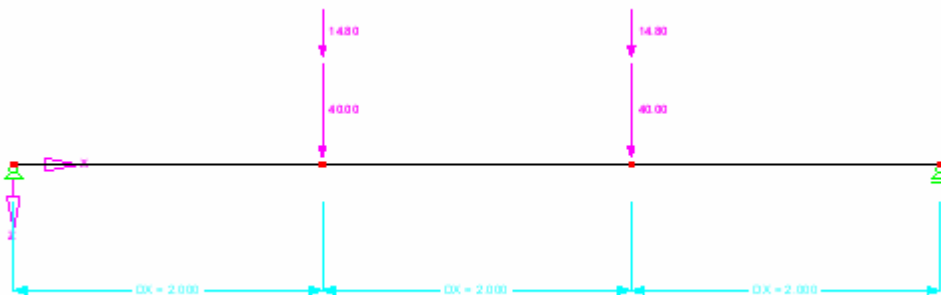
Es soll der Träger nach DIN 18800 und Eurocode 3 bemessen werden.

Die charakteristischen Werte der Einwirkungen sind:

ständige Last:  $F_G=14,8\text{kN}$  (einschl. Eigengewicht des Trägers)

veränderliche Last:  $F_Q=40,0\text{kN}$ ;

Der Unterzug soll aus S235 (St37) bestehen.



Abbildungen 22: Trägersystem mit Schnittkräften

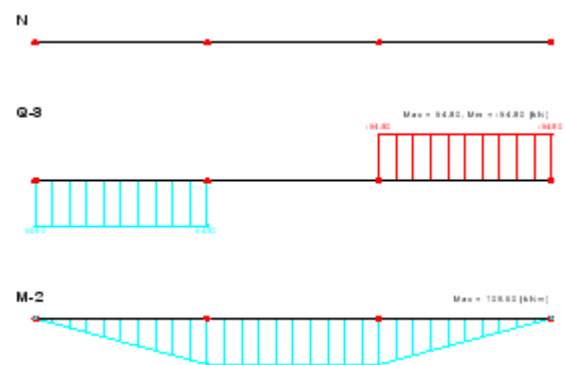
- Einwirkungen und Schnittgrößen

$$F_d = 1,35 \cdot 14,8\text{kN} + 1,5 \cdot 40\text{kN} = 80\text{kN}$$

$$N = 0$$

$$\max M_{y,Ed} = 80\text{kN} \cdot 2\text{m} = 160\text{kNm}$$

$$\max V_{z,Ed} = 80\text{kN}$$



### 3.5.2 Bemessung nach DIN 18800 (11.90)

#### 3.5.2.1 Bemessung und Spannungsnachweis

$$\sigma = \frac{M_y}{W_y} \leq \frac{f_{y,k}}{\gamma_M}$$

$$W_y \geq \frac{\max M_y \cdot \gamma_M}{f_{y,k}} = \frac{160 \text{ kNm} \cdot 10^6 \cdot 1,1}{240 \text{ N/mm}^2} = 733 \text{ cm}^3$$

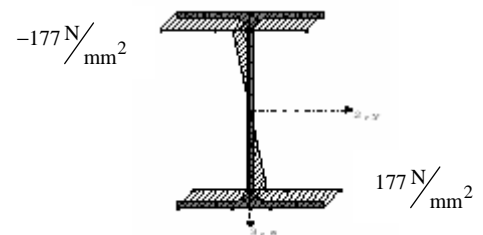
gewählt: **IPE 360** DIN 1025 T.5 mit  $W_y = 904 \text{ cm}^3$

$$I_y = 162,7 \cdot 10^6 \text{ mm}^4; s_y = 510 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = \frac{\max M_y}{W_y} = \frac{160 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{904 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} = 177 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\max \sigma}{\sigma_{Rd}} = \frac{177 \text{ N/mm}^2}{\frac{240 \text{ N/mm}^2}{1,1}} = 0,81 < 1$$

=> Spannungsnachweis erfüllt



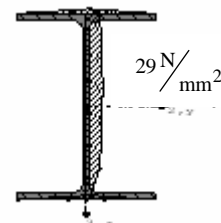
#### Schubspannungsnachweis

$$\frac{A_{\text{Gurt}}}{A_{\text{Steg}}} = \frac{12,7 \text{ mm} \cdot 170 \text{ mm}}{2778 \text{ mm}^2} = 0,78 > 0,6 \quad \Rightarrow \quad \text{vereinfachter Schubspannungsnachweis}$$

$$\tau = \frac{\max V_z}{A_{\text{Steg}}} = \frac{80 \cdot 10^3 \text{ N}}{2778 \text{ mm}^2} = 29 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{Rd} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M} = \frac{240 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 126 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau}{\tau_{Rd}} = \frac{29 \text{ N/mm}^2}{126 \text{ N/mm}^2} = 0,23 < 1$$



Zum Vergleich der exakte Schubspannungsnachweis

$$\max \tau = \frac{\max V_z \cdot S_y}{I_y \cdot s} = \frac{80 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot 510 \cdot 10^3 \text{ mm}^3}{162,7 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \cdot 8 \text{ mm}} = 31 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau}{\tau_{\text{Rd}}} = \frac{31 \text{ N/mm}^2}{126 \text{ N/mm}^2} = 0,25 < 1$$

Die Schubspannung ist nach der genaueren Berechnung um  $2 \text{ N/mm}^2$  höher.

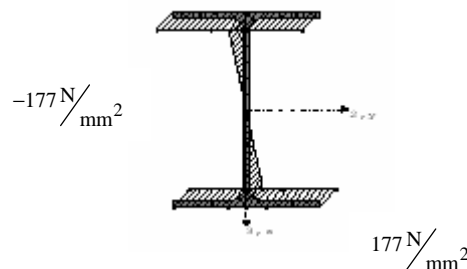
Nach DIN 18800 T.1 (747) gilt:

$$\frac{\tau}{\tau_{\text{Rd}}} < 0,5$$

$0,23 < 0,5 \quad \Rightarrow \quad$  der Vergleichsspannungsnachweis als erfüllt

### 3.5.2.2 Überprüfung der $\frac{b}{t}$ - Verhältnisse

$$\psi = \frac{-177 \text{ N/mm}^2}{177 \text{ N/mm}^2} = -1$$



-reine Biegebeanspruchung

Steg

$$\text{grenz} \left( \frac{b}{t} \right) = 133 \sqrt{\frac{240 \text{ N/mm}^2}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}} = 133 \sqrt{\frac{240 \text{ N/mm}^2}{177 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,1}} = 147,7$$

$$\text{vorh} \left( \frac{b}{t} \right) = \frac{298 \text{ mm}}{8 \text{ mm}} = 37,25 < \text{grenz} \left( \frac{b}{t} \right) = 147,7$$

$\Rightarrow$  kein Beulnachweis nach DIN 18800 T.3 (11.90) notwendig



Gurt

$$\psi = \frac{177 \text{ N/mm}^2}{177 \text{ N/mm}^2} = 1$$

- Druckspannung gleich

$$\text{grenz}\left(\frac{b}{t}\right) = 12,9 \sqrt{\frac{240 \text{ N/mm}^2}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}} = 12,9 \sqrt{\frac{240 \text{ N/mm}^2}{177 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,1}} = 14,32$$

$$b = \frac{170 \text{ mm} - 8 \text{ mm} - 2 \cdot 18 \text{ mm}}{2} = 63 \text{ mm}; t = 12,7 \text{ mm}$$

$$\text{vorh}\left(\frac{b}{t}\right) = \frac{63 \text{ mm}}{12,7 \text{ mm}} = 4,96 < \text{grenz}\left(\frac{b}{t}\right) = 14,32$$

=> kein Beulnachweis nach DIN 18800 T.3 (11.90) notwendig

- Biegedrillknicknachweis

- kann entfallen, da der Träger seitlich gehalten ist

### 3.5.3 Bemessung nach Eurocode 3 (EN 1993-1-1:2005 (D))

- Einwirkungen und Schnittgrößen

$$F_d = 1,35 \cdot 14,8 \text{ kN} + 1,5 \cdot 40 \text{ kN} = 80 \text{ kN}$$

$$N = 0$$

$$\max M_{y,Ed} = 80 \text{ kN} \cdot 2 \text{ m} = 160 \text{ kNm}$$

$$\max V_{z,Ed} = 80 \text{ kN}$$

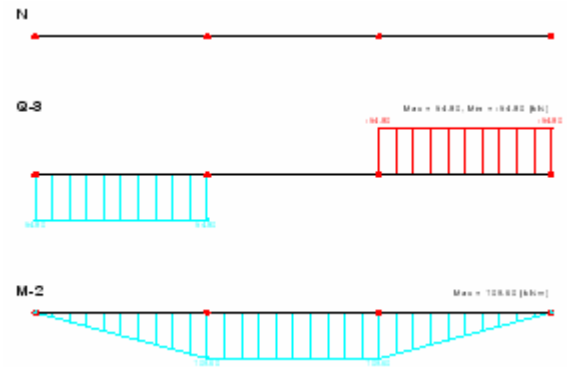


Abbildung 23: Schnittkräfte

#### 3.5.3.1 Bemessung des Profils

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\Rightarrow \max M_{pl,y} = \frac{\max M_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{16000 \text{ kNm} \cdot 1,0}{23,5 \text{ kN/cm}^2} = 680,8 \text{ cm}^3$$

gewählt: **IPE 330** DIN 1025 T.5 mit  $W_{pl,y} = 804,3 \text{ cm}^3$

- Querschnittswerte:

$$h = 330 \text{ mm}; b = 160 \text{ mm}; s = 7,5 \text{ mm}; t = 11,5 \text{ mm}; r = 18 \text{ mm}; h_1 = 271 \text{ mm}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

$$A_v = 62,6 \text{ cm}^2 - 2 \cdot 16 \text{ cm} \cdot 1,15 \text{ cm} + (0,75 \text{ cm} + 2 \cdot 1,8 \text{ cm}) \cdot 1,15 \text{ cm} = 30,8 \text{ cm}^2$$

### 3.5.3.2 Querschnittsklassifizierung nach EN 1993-1-1:2005 (D), Tabelle 5.2

Steg:  $c = h_1 = 271\text{mm}$ ;  $t = 7,5\text{mm}$

$$\text{vorh}\left(\frac{c}{t}\right) = \frac{271\text{mm}}{7,5\text{mm}} = 36,1 < \text{grenz}\left(\frac{c}{t}\right) = 72 \cdot \epsilon = 72 \cdot 1,00 = 72$$

=> Querschnittsklasse 1

$$\text{Gurt: } c = \frac{160\text{mm} - 7,5\text{mm} - 2 \cdot 18\text{mm}}{2} = 58,25\text{mm}; t = 11,5\text{mm}$$

$$\text{vorh}\left(\frac{c}{t}\right) = \frac{58,25\text{mm}}{11,5\text{mm}} = 5,06 < \text{grenz}\left(\frac{c}{t}\right) = 9 \cdot \epsilon = 9 \cdot 1,00 = 9$$

=> Querschnittsklasse 1

Der gesamte Querschnitt kann in Querschnittsklasse 1 eingestuft werden.

### 3.5.3.3 Tragfähigkeitsnachweis für einachsige Biegung und Querkraft nach EN 1993-1-1:2005 (D), 6.2.8

- Querkrafttragfähigkeit:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{30,8\text{cm}^2 \cdot \frac{23,5\text{kN/cm}^2}{\sqrt{3}}}{1,00} = 417,9\text{kN}$$

$$V_{z,Ed} = 80\text{kN} < V_{c,Rd} = 417,9\text{kN} \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Überprüfung auf Schubbeulen nach EN 1993-1-1:2005 (D):

$$\text{vorh}\left(\frac{c}{t}\right) = 70,5 < 72 \cdot 1,00 = 72 \quad (\text{kein Schubbeulnachweis nötig})$$

- Einfluss der Querkraft:

$$\frac{\max V_{z,Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{80\text{kN}}{417,9\text{kN}} = 0,19 < 0,5$$

Da der Einfluss der Querkraft zu gering ist, kann auf einen Interaktionsnachweis von Biegemoment und Querkraft verzichtet werden.

- Momententragfähigkeit:

$$W_{pl,y} = 804,3 \text{ cm}^3$$

$$M_{y,c,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{804,3 \text{ cm}^3 \cdot 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,00} = 18901 \text{ kNcm} = 189 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 160 \text{ kNm} < M_{y,c,Rd} = 189 \text{ kNm}$$

Der Druckgurt ist gegen seitliches Ausweichen gehalten.

=> Nachweis erfüllt

Ausnutzung:

$$\frac{\max M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}} = \frac{160 \text{ kNm}}{189 \text{ kNm}} = 0,85 < 1$$

Der IPE 360 ist zu 85 % belastet.

### **3.5.4 Auswertung (Beispiel 5)**

Für den Unterzug mit der Länge von 6m und der angegebenen Belastung ist nach DIN 18800 ein IPE 360 notwendig, nach Eurocode 3 jedoch ist ein IPE 330 ausreichend.

Der nach DIN eingesetzte IPE 360 ist mit der maßgebenden Normalspannung zu 81 % ausgelastet, der IPE 330 mit dem Vergleich der Momente nach Eurocode zu 85 %.

Somit kann man bei diesem Beispiel nach Eurocode 3 eine IPE - Profilkategorie niedriger, bei fast gleicher Auslastung, ansetzen.

### 3.6 Beispiel 6 – Geschweißter Träger unter Einzellast

#### 3.6.1 Problemstellung und Schnittgrößen

Es ist der Nachweis eines geschweißten, doppelsymmetrischen I-Profiles mit den Gurten 250mm x 14mm und dem Steg 572mm x 8mm unter einer mittig einwirkenden Einzellast  $F$  von 290kN (Bemessungswert) nach DIN 18800 und Eurocode 3 zu führen.

Der Träger hat eine Gesamtlänge von 6,0m und ist gegen seitliches Ausweichen gesichert.

Auf den Nachweis der 4mm starken Halsnähte wird in diesem Beispiel verzichtet.

Die verwendeten Bleche bestehen aus S235 (St 37).

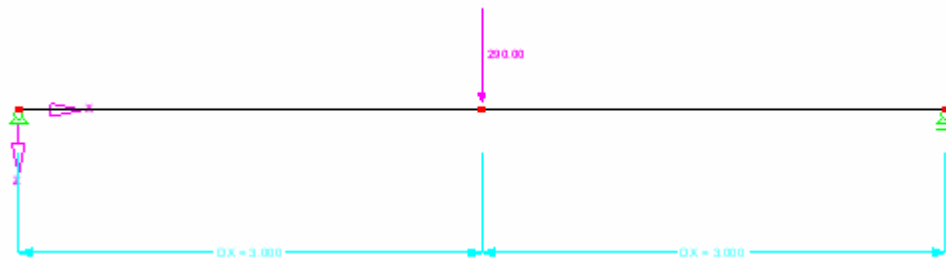


Abbildung 24: Trägersystem mit Schnittkräften

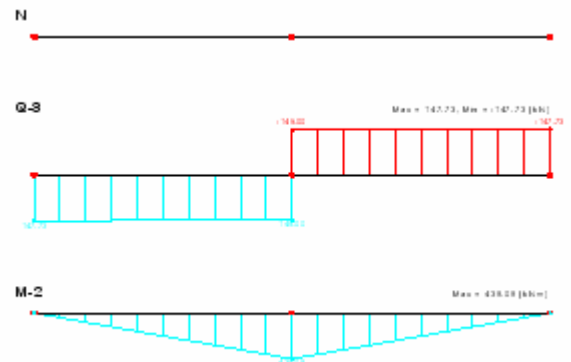
- Einwirkungen und Schnittgrößen

$$F_d = 290\text{kN}$$

$$N = 0$$

$$\max M_{y,Ed} = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{290\text{kN} \cdot 6\text{m}}{4} = 435\text{kNm}$$

$$\max V_{z,Ed} = \frac{F}{2} = \frac{290\text{kN}}{2} = 145\text{kN}$$



### 3.6.2 Nachweis nach DIN 18800 (11.90)

#### 3.6.2.1 Querschnittswerte und Spannungsnachweis

- Querschnittswerte

$$I_y = \sum (I_{y,i} + A_i \cdot z_{is}^2) = \sum \left( \frac{b \cdot h^3}{12} + A_i \cdot z_{is}^2 \right)$$

$$I_y = \left[ \frac{25\text{cm} \cdot (1,4\text{cm})^3}{12} + 1,4\text{cm} \cdot 25\text{cm} \cdot \left( \frac{57,2\text{cm}}{2} + 0,7\text{cm} \right)^2 \right] \cdot 2 + \frac{0,8\text{cm} \cdot (57,2\text{cm})^3}{12}$$

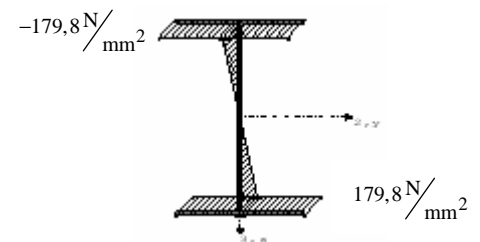
$$I_y = 72582,3\text{cm}^4$$

- Normalspannung:

$$\sigma = \frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot z = \frac{43500\text{kNcm}}{72582,3\text{cm}^4} \cdot 30\text{cm} = 17,98\text{kN/cm}^2 = 179,8\text{N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{Rd}} = \frac{179,8\text{N/mm}^2}{\frac{240\text{N/mm}^2}{1,1}} = 0,82 < 1$$

=> Nachweis erfüllt



- Schubspannung:

$$A_{\text{Steg}} = 0,8\text{cm} \cdot 57,2\text{cm} = 45,76\text{cm}^2$$

$$A_{\text{Gurt}} = 1,4\text{cm} \cdot 25\text{cm} = 35\text{cm}^2$$

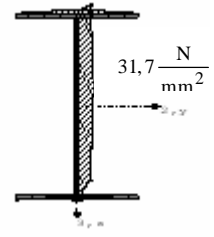
$$\frac{A_{\text{Gurt}}}{A_{\text{Steg}}} = \frac{35\text{cm}^2}{45,76\text{cm}^2} = 0,77 > 0,6 \quad \Rightarrow \quad \tau = \frac{V_z}{A_{\text{Steg}}}$$

$$\tau_{\max} = \frac{V_z}{A_{\text{Steg}}} = \frac{145 \text{ kN}}{45,76 \text{ cm}^2} = 3,17 \text{ kN/cm}^2 = 31,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\text{Rd}} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M} = \frac{240 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 126 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau_{\max}}{\tau_{\text{Rd}}} = \frac{31,7 \text{ N/mm}^2}{126 \text{ N/mm}^2} = 0,25 < 1$$

=> Nachweis erfüllt



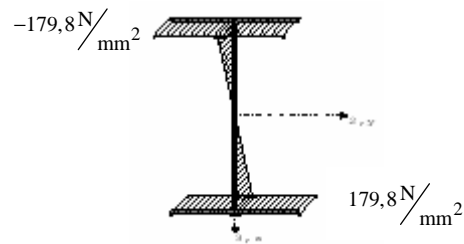
Nach DIN 18800 T.1 (747) gilt:

$$\frac{\tau}{\tau_{\text{Rd}}} < 0,5$$

0,25 < 0,5                      => der Vergleichsspannungsnachweis als erfüllt

### 3.6.2.2 Überprüfung der $\frac{b}{t}$ - Verhältnisse

$$\psi = \frac{-179,8 \text{ N/mm}^2}{179,8 \text{ N/mm}^2} = -1$$



- reine Biegebeanspruchung

Steg:

$$\text{grenz} \left( \frac{b}{t} \right) = 133 \sqrt{\frac{240 \text{ N/mm}^2}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}} = 133 \sqrt{\frac{240 \text{ N/mm}^2}{179,8 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,1}} = 146,51$$

$$\text{vorh} \left( \frac{b}{t} \right) = \frac{572 \text{ mm}}{8 \text{ mm}} = 71,5 < \text{grenz} \left( \frac{b}{t} \right) = 146,51$$

=> kein Beulnachweis nach DIN 18800 T.3 (11.90) notwendig



Gurt:

$$\psi = \frac{-179,8 \text{ N/mm}^2}{-179,8 \text{ N/mm}^2} = 1$$

- Druckspannung gleich

$$\text{grenz}\left(\frac{b}{t}\right) = 12,9 \sqrt{\frac{240 \text{ N/mm}^2}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}} = 12,9 \sqrt{\frac{240 \text{ N/mm}^2}{179,8 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,1}} = 14,21$$

$$b = \frac{250 \text{ mm} - 8 \text{ mm} - 2 \cdot 4 \text{ mm}}{2} = 117 \text{ mm} ; t = 14 \text{ mm}$$

$$\text{vorh}\left(\frac{b}{t}\right) = \frac{117 \text{ mm}}{14 \text{ mm}} = 8,36 < \text{grenz}\left(\frac{b}{t}\right) = 14,21$$

=> kein Beulnachweis nach DIN 18800 T.3 (11.90) notwendig

- Biegedrillknicknachweis

- kann entfallen, da der Träger seitlich gehalten ist

### 3.6.3 Nachweis nach Eurocode 3 (EN 1993-1-1:2005 (D))

- Einwirkungen und Schnittgrößen

$$F_d = 290 \text{ kN}$$

$$N = 0$$

$$\max M_{y,Ed} = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{290 \text{ kN} \cdot 6 \text{ m}}{4} = 435 \text{ kNm}$$

$$\max V_{z,Ed} = \frac{F}{2} = \frac{290 \text{ kN}}{2} = 145 \text{ kN}$$

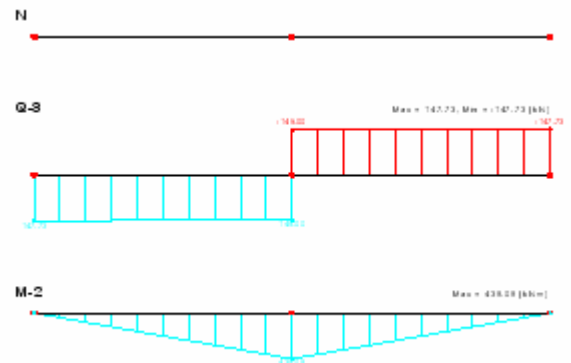


Abbildung 25: Schnittkräfte

#### 3.6.3.1 Querschnittswerte

$$I_y = \sum (I_{y,i} + A_i \cdot z_{is}^2) = \sum \left( \frac{b \cdot h^3}{12} + A_i \cdot z_{is}^2 \right)$$

$$I_y = \left[ \frac{25 \text{ cm} \cdot (1,4 \text{ cm})^3}{12} + 1,4 \text{ cm} \cdot 25 \text{ cm} \cdot \left( \frac{57,2 \text{ cm}}{2} + 0,7 \text{ cm} \right)^2 \right] \cdot 2 + \frac{0,8 \text{ cm} \cdot (57,2 \text{ cm})^3}{12}$$

$$I_y = 72582,3 \text{ cm}^4$$

$$S_y = A_1 \cdot z_1 + A_2 \cdot z_2 = 1,4 \text{ cm} \cdot 25 \text{ cm} \cdot \left( \frac{57,2 \text{ cm}}{2} + 0,7 \text{ cm} \right) + \left( \frac{57,2 \text{ cm}}{2} \cdot 0,8 \text{ cm} \right) \cdot \frac{57,2 \text{ cm}}{4}$$

$$S_y = 1352,7 \text{ cm}^3$$

$$W_{y,pl} = S_y \cdot 2 = 1352,7 \text{ cm}^3 \cdot 2 = 2705,4 \text{ cm}^3$$

$$A_v = 0,8 \text{ cm} \cdot 57,2 \text{ cm} = 45,76 \text{ cm}^2$$

### 3.6.3.2 Querschnittsklassifizierung nach EN 1993-1-1:2005 (D), Tabelle 5.2

Steg:  $c = 572\text{mm} - 2 \cdot 4\text{mm} = 564\text{mm}$ ;  $t = 8\text{mm}$

$$\text{vorh}\left(\frac{c}{t}\right) = \frac{564\text{mm}}{8\text{mm}} = 70,5 < \text{grenz}\left(\frac{c}{t}\right) = 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 1,00 = 72$$

=> Querschnittsklasse 1

Gurt:  $c = \frac{250\text{mm} - 8\text{mm} - 2 \cdot 4\text{mm}}{2} = 117\text{mm}$ ;  $t = 4\text{mm}$

$$\text{vorh}\left(\frac{c}{t}\right) = \frac{117\text{mm}}{4\text{mm}} = 29,25 < \text{grenz}\left(\frac{c}{t}\right) = 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1,00 = 9$$

=> Querschnittsklasse 1

Der gesamte Querschnitt kann in Querschnittsklasse 1 eingestuft werden.

### 3.6.3.3 Tragfähigkeitsnachweis für einachsige Biegung und Querkraft nach EN 1993-1-1:2005 (D), 6.2.8

- Querkrafttragfähigkeit

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{45,76\text{cm}^2 \cdot \frac{23,5\text{kN/cm}^2}{\sqrt{3}}}{1,00} = 620,86\text{kN}$$

$$V_{z,Ed} = 145\text{kN} < V_{c,Rd} = 620,86\text{kN} \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Überprüfung auf Schubbeulen nach EN 1993-1-1:2005 (D):

$$\text{vorh}\left(\frac{c}{t}\right) = 70,5 < 72 \cdot 1,00 = 72 \quad (\text{kein Schubbeulnachweis nötig})$$

- Einfluss der Querkraft:

$$\frac{\max V_{z,Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{145\text{kN}}{620,68\text{kN}} = 0,23 < 0,5$$

Da der Einfluss der Querkraft zu gering ist, kann auf einen Interaktionsnachweis von Biegemoment und Querkraft verzichtet werden.

- Momententragfähigkeit:

$$W_{pl,y} = 2705,4 \text{ cm}^3$$

$$M_{y,c,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2705,4 \text{ cm}^3 \cdot 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,00} = 63576,9 \text{ kNcm} = 635,77 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 435 \text{ kNm} < M_{y,c,Rd} = 635,77 \text{ kNm}$$

Der Druckgurt ist gegen seitliches Ausweichen gehalten.

=> Nachweis erfüllt

Ausnutzung:

$$\frac{\max M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}} = \frac{435 \text{ kNm}}{635,77 \text{ kNm}} = 0,68 < 1$$

Der Träger ist zu 68 % belastet.

#### **3.6.4 Auswertung (Beispiel 6)**

Nach DIN 18800 ist der 6,0m lange, geschweißte I-Träger unter der maßgebenden Normalspannung zu 82 % ausgelastet. Nach Eurocode 3 hingegen ist er bloß zu 68 % belastet. Dies ist durch den Einsatz der plastischen Widerstandswerte und des geringeren Teilsicherheitsbeiwertes nach Eurocode möglich.

### 3.7 Beispiel 7 – Trägernachweis

#### 3.7.1 Problemstellung und Schnittgrößen

Es wird ein doppelsymmetrischer I-Träger mit 2 Einzellasten von je 46kN (Bemessungswert inklusive Eigengewicht) beansprucht.

Zwischen den Gurten des s Trägers, bestehend aus  $\frac{1}{2}$  IPE 200 - S355 (ST 52), wurde ein Stegblech mit den Maßen 6mm x 200mm, bestehend aus S235 (St37), mittels durchgängiger Stumpfnähte eingeschweißt. Es ist der Träger mit den 2 Einzellasten in Abbildung 26 nachzuweisen.

Auf den sonst notwendigen Nachweis der Stumpfnähte wird in diesem Fall verzichtet.

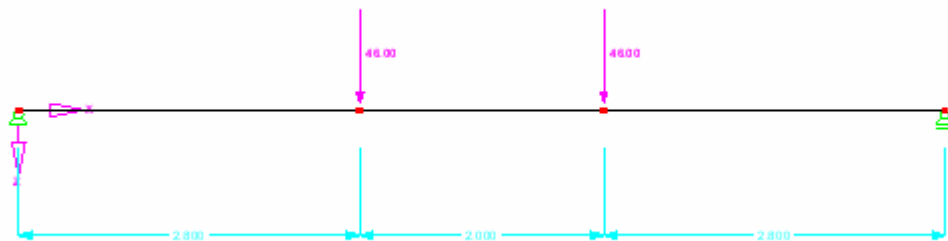


Abbildung 26: Trägersystem mit Schnittkräften

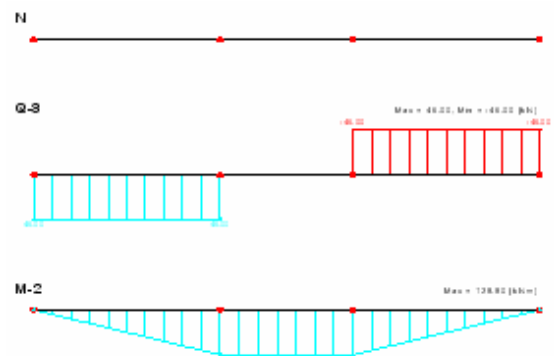
- Einwirkungen und Schnittgrößen

$$F_d = 46,00 \text{ kN}$$

$$N = 0$$

$$\max M_{y,Ed} = F \cdot l = 46 \text{ kN} \cdot 2,8 \text{ m} = 128,8 \text{ kNm}$$

$$\max V_{z,Ed} = 46 \text{ kN}$$



### 3.7.2 Nachweis nach DIN 18800 (11.90)

#### 3.7.2.1 Querschnittswerte und Spannungsnachweis

$$A = 1420 \text{ mm}^2; I_y = 1,17 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

- Blechdicke zur Stegflächenberechnung  $t = 5,6 \text{ mm}$

$$A_{\text{Steg, ges}} = s \cdot (h_{\text{ges}} - t) = 5,6 \text{ mm} \cdot (400 - 8,5 \text{ mm}) = 2192 \text{ mm}^2$$

$$I_y = \sum (I_{y,i} + A_i \cdot z_{i,s}^2) = \frac{6 \text{ mm} \cdot (200 \text{ mm})^3}{12} + 2 \cdot 1,17 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 + 2 \cdot (200 \text{ mm} - 22,5 \text{ mm})^2 = 95,8 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

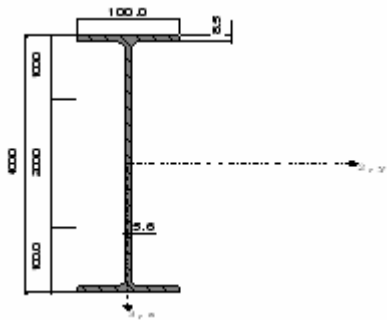


Abbildung 27: Schweißprofil 1/2 IPE mit eingeschweißtem Steg

$$S_{1, 1/2 \text{ IPE}} = A_1 \cdot z_{1,s} = 1420 \text{ mm}^2 \cdot (200 \text{ mm} - 22,5 \text{ mm}) = 252 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$S_y = S_{1, 1/2 \text{ IPE}} + A_2 \cdot z_{2,s} = 252 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 + 6 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm} \cdot 50 \text{ mm} = 282 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Normalspannung der Gurte:

$$\sigma_{\text{Gurt}} = \frac{\max M_y}{I_y} \cdot \frac{h}{2} = \frac{128,8 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{95,8 \cdot 10^6 \text{ mm}^4} \cdot \frac{400 \text{ mm}}{2} = 269 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{Rd}} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{360 \text{ N/mm}^2}{1,1} = 327 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

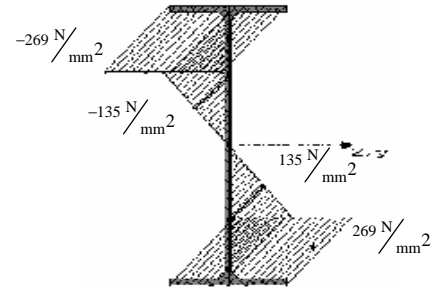
$$\frac{\sigma_{\text{Gurt}}}{\sigma_{\text{R,d}}} = \frac{269 \text{ N/mm}^2}{327 \text{ N/mm}^2} = 0,82 < 1$$

Normalspannung des Steges:

$$\sigma_{\text{Steg}} = \frac{\max M_y}{I_y} \cdot z_{\text{Steg}} = \frac{128,8 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{95,8 \cdot 10^6 \text{ mm}^4} \cdot 100 \text{ mm} = 135 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{Rd}} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{240 \text{ N/mm}^2}{1,1} = 218 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{\text{Steg}}}{\sigma_{\text{R,d}}} = \frac{135 \text{ N/mm}^2}{218 \text{ N/mm}^2} = 0,62 < 1$$



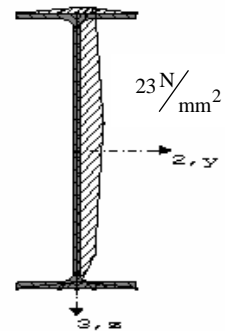
Schubspannung:

$$\frac{A_{\text{Gurt}}}{A_{\text{Steg}}} = \frac{8,5 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm}}{2192 \text{ mm}^2} = 0,39 < 0,6 \quad \Rightarrow \text{Berechnung nach exakter Spannungsformel}$$

$$\tau = \frac{V_z \cdot S_y}{I_y \cdot s} = \frac{46 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot 282 \cdot 10^3 \text{ mm}^3}{95,8 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \cdot 6 \text{ mm}} = 23 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\text{R,d}} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M} = \frac{240 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 126 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau}{\tau_{\text{R,d}}} = \frac{23 \text{ N/mm}^2}{126 \text{ N/mm}^2} = 0,18 < 1$$



Nach DIN 18800 T.1 (747) gilt:

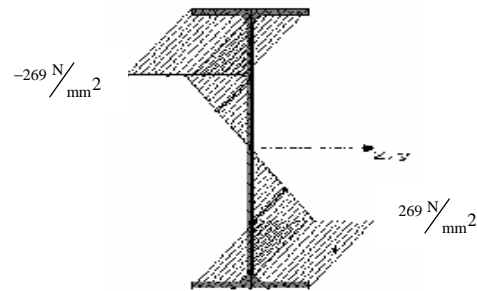
$$\frac{\tau}{\tau_{\text{Rd}}} < 0,5$$

0,18 < 0,5  $\Rightarrow$  der Vergleichsspannungsnachweis als erfüllt



### 3.7.2.3 Überprüfung der $\frac{b}{t}$ - Verhältnisse

$$\psi = \frac{-269 \text{ N/mm}^2}{269 \text{ N/mm}^2} = -1$$



-reine Biegebeanspruchung

Steg:

$$\text{grenz} \left( \frac{b}{t} \right) = 133 \sqrt{\frac{240 \text{ N/mm}^2}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}} = 133 \sqrt{\frac{240 \text{ N/mm}^2}{269 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,1}} = 119,8$$

$$\text{vorh} \left( \frac{b}{t} \right) = \frac{400 \text{ mm} - 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 8,5 \text{ mm}}{5,6 \text{ mm}} = 69,9 < \text{grenz} \left( \frac{b}{t} \right) = 119,8$$

=> kein Beulnachweis nach DIN 18800 T.3 (11.90) notwendig

Gurt:

$$\psi = \frac{-269 \text{ N/mm}^2}{-269 \text{ N/mm}^2} = 1$$

Druckspannung gleich

$$\text{grenz} \left( \frac{b}{t} \right) = 12,9 \sqrt{\frac{240 \text{ N/mm}^2}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}} = 12,9 \sqrt{\frac{240 \text{ N/mm}^2}{269 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,1}} = 11,6$$

$$b = \frac{100 \text{ mm} - 5,6 \text{ mm} - 2 \cdot 12 \text{ mm}}{2} = 35,2 \text{ mm} ; t = 8,5 \text{ mm}$$

$$\text{vorh} \left( \frac{b}{t} \right) = \frac{35,2 \text{ mm}}{8,5 \text{ mm}} = 4,1 < \text{grenz} \left( \frac{b}{t} \right) = 11,6$$

=> kein Beulnachweis nach DIN 18800 T.3 (11.90) notwendig

- Biegedrillknicknachweis

- kann entfallen, da der Träger seitlich gehalten ist

### 3.7.3 Nachweis nach Eurocode 3 (EN 1993-1-1:2005 (D))

- Einwirkungen und Schnittgrößen

$$F_d = 46,00 \text{ kN}$$

$$N = 0$$

$$\max M_{y,Ed} = F \cdot l = 46 \text{ kN} \cdot 2,8 \text{ m} = 128,8 \text{ kN}$$

$$\max V_{z,Ed} = 46 \text{ kN}$$

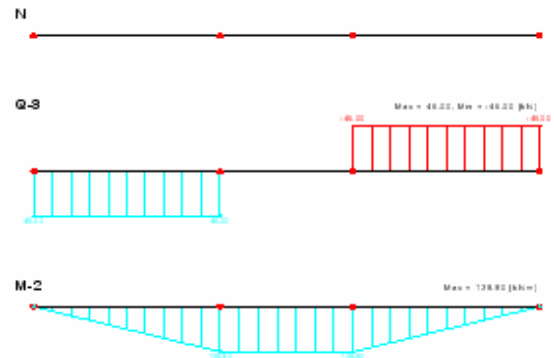


Abbildung 28: Schnittkräfte

#### 3.7.3.1 Querschnittswerte

-  $\frac{1}{2}$  IPE 200 DIN 1025, T.5:

$$A = 1420 \text{ mm}^2; I_y = 1,17 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$S_{y, \frac{1}{2} \text{ IPE}} = A_1 \cdot z_{1,s} = 1420 \text{ mm}^2 \cdot (200 \text{ mm} - 22,5 \text{ mm}) = 252 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{y, pl, 2 \cdot \frac{1}{2} \text{ IPE}} = S_{y, \frac{1}{2} \text{ IPE}} \cdot 2 = 252 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \cdot 2 = 504 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

- Stegblech:

$$S_{y, \text{ Blech}} = A_2 \cdot z_{2,s} = (6 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm}) \cdot 50 \text{ mm} = 30 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{y, pl, \text{ Blech}} = S_{y, \text{ Blech}} \cdot 2 = 30 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \cdot 2 = 60 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

- gesamter Querschnitt:

Blechdicke zur Stegflächenberechnung mit  $t = 5,6\text{mm}$  angenommen

$$A_{\text{Steg, ges}} = s \cdot (h_{\text{ges}} - t) = 5,6\text{mm} \cdot (400\text{mm} - 8,5\text{mm}) = 2192\text{mm}^2$$

$$A_v = 0,8\text{cm} \cdot 57,2\text{cm} = 45,76\text{cm}^2$$

$$S_y = S_{y, \frac{1}{2}\text{IPE}} + S_{y, \text{Blech}} = 252 \cdot 10^3 \text{mm}^3 + 30 \cdot 10^3 \text{mm}^3 = 282 \cdot 10^3 \text{mm}^3$$

$$I_y = \sum (I_{y,i} + A_i \cdot z_{i,s}^2) = \frac{6\text{mm} \cdot (200\text{mm})^3}{12} + 2 \cdot 1,17 \cdot 10^6 \text{mm}^4 + 2 \cdot (200\text{mm} - 22,5\text{mm})^2 = 95,8 \cdot 10^6 \text{mm}^4$$

### 3.7.3.2 Querschnittsklassifizierung nach EN 1993-1-1:2005 (D), Tabelle 5.2

Steg:  $c = 159\text{mm} + 200\text{mm} = 359\text{mm}$  ;  $t = 5,6\text{mm}$

- Zur Berechnung der Querschnittsklasse wird der Steg komplett aus S355 angenommen.

$$\text{vorh} \left( \frac{c}{t} \right) = \frac{359\text{mm}}{5,6\text{mm}} = 64,1 > \text{grenz} \left( \frac{c}{t} \right) = 72 \cdot \epsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,3$$

$$\text{vorh} \left( \frac{c}{t} \right) = \frac{359\text{mm}}{5,6\text{mm}} = 64,1 < \text{grenz} \left( \frac{c}{t} \right) = 83 \cdot \epsilon = 83 \cdot 0,81 = 67,2$$

=> Querschnittsklasse 2

$$\text{Gurt: } c = \frac{100\text{mm} - 5,6\text{mm} - 2 \cdot 12\text{mm}}{2} = 35,2\text{mm} ; t = 8,5\text{mm}$$

$$\text{vorh} \left( \frac{c}{t} \right) = \frac{35,2\text{mm}}{8\text{mm}} = 4,4 < \text{grenz} \left( \frac{c}{t} \right) = 9 \cdot \epsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,3$$

=> Querschnittsklasse 1

Der gesamte Querschnitt kann in Querschnittsklasse 2 eingestuft werden.

### 3.7.3.3 Tragfähigkeitsnachweis für einachsige Biegung und Querkraft nach EN 1993-1-1:2005 (D), 6.2.8

- Querkrafttragfähigkeit

Bei der Berechnung der Querkrafttragfähigkeit wird der Steg komplett als S235 angenommen, da dies die ungünstigere Variante darstellt.

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{45,76 \text{ cm}^2 \cdot \frac{23,5 \text{ kN/cm}^2}{\sqrt{3}}}{1,00} = 620,9 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 46 \text{ kN} < V_{c,Rd} = 620,9 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Überprüfung auf Schubbeulen nach EN 1993-1-1:2005 (D):

Hier wird der Steg komplett als S355 angenommen, da dies in diesem Fall die ungünstigere Variante ist.

$$\text{vorh} \left( \frac{c}{t} \right) = 64,1 > 72 \cdot 0,81 = 58,3$$

Schubbeulnachweis nach EN 1993-1-5:2006 – 5 nötig

- Schubbeulnachweis

Es müssen „verformbare“ Quersteifen an den Auflagern angebracht werden.

Es wird in diesem Fall angenommen, dass die Steifen die Belastung aufnehmen.

Das Material des Steges wird zur Berechnung komplett als S355 angenommen.

Der Beitrag der Flansche wird hier nicht berücksichtigt.

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta \cdot f_{y,w} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{y,w} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

$$\eta = 1,0$$

$$h_w = 400\text{mm} - 2 \cdot 8,5\text{mm} - 2 \cdot 12\text{mm} = 359\text{mm}$$

$$\text{nur Auflagersteifen: } \bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{86,4 \cdot t \cdot \varepsilon} = \frac{359\text{mm}}{86,4 \cdot 5,6\text{mm} \cdot 0,81} = 0,916$$

nach EN 1993-1-5:2006 (D) Tabelle 1:

$$\frac{0,83}{\eta} = \frac{0,83}{1,00} = 0,83 < \bar{\lambda}_w = 0,916 < 1,08$$

$$\Rightarrow \chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w} = \frac{0,83}{0,916} = 0,91$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{0,91 \cdot 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 359\text{mm} \cdot 5,6\text{mm}}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 374965,74\text{N} = 374,97\text{kN}$$

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta \cdot f_{y,w} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

$$\frac{\eta \cdot f_{y,w} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{1,00 \cdot 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 359\text{mm} \cdot 5,6\text{mm}}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 412050,3\text{N} = 412,05\text{kN}$$

$$V_{b,Rd} = 374,97\text{kN} < 412,05\text{kN}$$

$$V_{z,Ed} = 46\text{kN} < V_{b,Rd} = 374,97\text{kN}$$

=> Nachweis erfüllt

- Einfluss der Querkraft:

$$\frac{\max V_{z,Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{46 \text{ kN}}{620,9 \text{ kN}} = 0,07 < 0,5$$

Da der Einfluss der Querkraft zu gering ist, kann auf einen Interaktionsnachweis von Biegemoment und Querkraft verzichtet werden.

- Momententragfähigkeit:

Widerstandsmoment  $2 \cdot \frac{1}{2}$  IPE200 :

$$W_{y,pl,\frac{1}{2}IPE} = S_{y,\frac{1}{2}IPE} \cdot 2 = 252 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \cdot 2 = 504 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Widerstandsmoment Stegblech:

$$W_{y,pl,Blech} = S_{y,Blech} \cdot 2 = 30 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \cdot 2 = 60 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$M_{y,c,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{y,S355}}{\gamma_{M0}} + \frac{W_{pl,y} \cdot f_{y,S235}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{y,c,Rd} = \frac{504 \text{ cm}^3 \cdot 35,5 \text{ kN/cm}^2}{1,00} + \frac{60 \text{ cm}^3 \cdot 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,00} = 19302 \text{ kNcm} = 193,02 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 128,8 \text{ kNm} < M_{y,c,Rd} = 193,02 \text{ kNm}$$

Der Druckgurt ist gegen seitliches Ausweichen gehalten.

Nachweis erfüllt

Ausnutzung:

$$\frac{\max M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}} = \frac{128,80 \text{ kNm}}{193,02 \text{ kNm}} = 0,67 < 1$$

Der Träger ist zu 67 % belastet.

### **3.7.4 Auswertung (Beispiel 7)**

Nach DIN 18800 ist der 7,6m lange, zusammengesetzte I-Träger unter der maßgebenden Normalspannung zu 82 % ausgelastet.

Nach Eurocode 3 hingegen ist er durch Vergleich der maßgebenden Biegemomente bloß zu 67 % belastet.

Somit kann er in diesem Beispiel nach Eurocode um 15 % höher belastet werden.

Dabei müssen allerdings nach Eurocode 3 Quersteifen an den Auflagern eingeschweißt werden, da der Schubbeulnachweis erst mit der Nachweis EN 1993-1-5:2006 – 5 erfüllt wurde.

Nach DIN 18800 sind keine Steifen notwendig.

### 3.8 Beispiel 8 – Gewalzter Träger unter Linienlast

#### 3.8.1 Problemstellung und Schnittgrößen

Es soll das Walzprofil HEA 600 nach DIN1025 T.3, welches mit einer Linienlast von  $q = 137,5 \text{ kN/m}$  (Bemessungswert einschließlich Eigengewicht) belastet wird, nach DIN 18800 und Eurocode 3 nachgewiesen werden.

Der Träger ist gelenkig über eine Stützweite von 8m gelagert und gegen seitliches Ausweichen gesichert.

Die gewählte Stahlsorte ist S235 (St37).

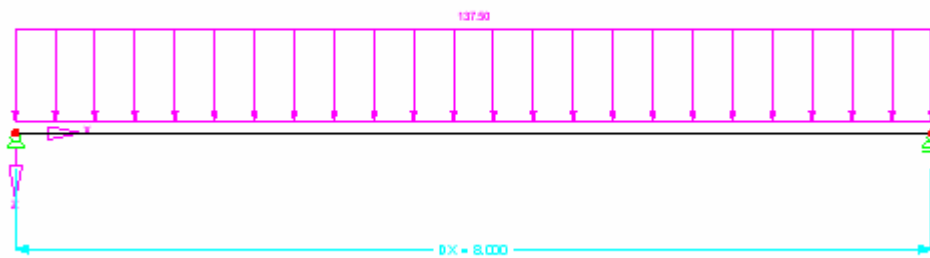


Abbildung 29: Trägersystem mit Schnittkräften

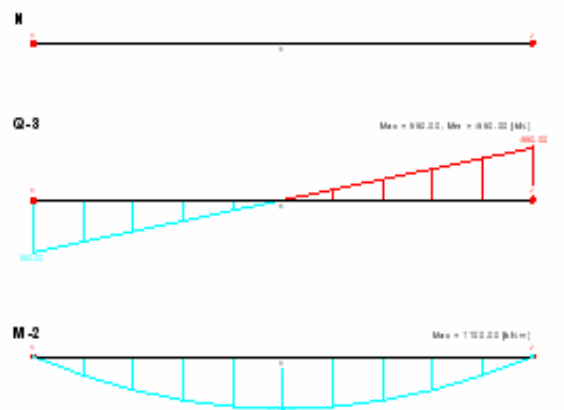
- Einwirkungen und Schnittgrößen

$$q_d = 137,5 \text{ kN/m}$$

$$N = 0$$

$$\max V_{z,Ed} = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{137,5 \text{ kN/m} \cdot 8 \text{ m}}{2} = 550 \text{ kN}$$

$$\max M_{y,Ed} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{137,5 \text{ kN/m} \cdot (8 \text{ m})^2}{8} = 1100 \text{ kNm}$$





### 3.8.2 Nachweis nach DIN 18800 (11.90)

#### 3.8.2.1 Querschnittswerte und Spannungsnachweis

$$I_y = 141200 \text{ cm}^4$$

$$W_y = 4790 \text{ cm}^3$$

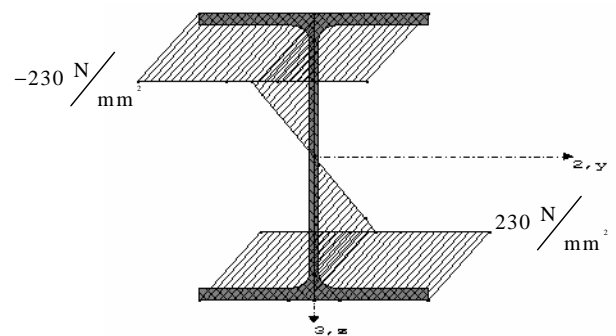
Normalspannung:

$$\sigma = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{1100 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{4790 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} = 230 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{Rd}} = \frac{230 \text{ N/mm}^2}{\frac{240 \text{ N/mm}^2}{1,1}} = 1,05 > 1$$

=> **Nachweis nicht erfüllt**

=> größeres Profil wählen oder Nutzung der plastischen Querschnittsreserven



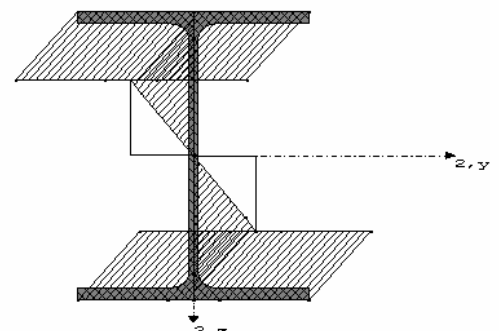
- Nutzung der plastischen Querschnittsreserven

Plastisches Widerstandsmoment  $W_{pl,y} = 5350 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

$$\sigma = \frac{M_y}{W_{pl,y}} = \frac{1100 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{5350 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} = 205,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{Rd}} = \frac{205,6 \text{ N/mm}^2}{\frac{240 \text{ N/mm}^2}{1,1}} = 0,94 < 1$$

=> Nachweis erfüllt (mit Plastizierung)



Schubspannung:

$$A_{\text{Steg}} = 1,3\text{cm} \cdot (59\text{cm} - 2,5\text{cm}) = 73,45\text{cm}^2$$

$$A_{\text{Gurt}} = 2,5\text{cm} \cdot 30\text{cm} = 75\text{cm}^2$$

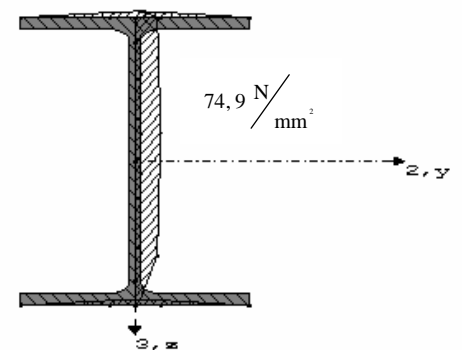
$$\frac{A_{\text{Gurt}}}{A_{\text{Steg}}} = \frac{75\text{cm}^2}{73,45\text{cm}^2} = 1,02 > 0,6 \quad \Rightarrow \quad \tau = \frac{V_z}{A_{\text{Steg}}}$$

$$\tau_{\text{max}} = \frac{V_z}{A_{\text{Steg}}} = \frac{550 \cdot 10^3 \text{N}}{73,45 \cdot 10^2 \text{cm}^2} = 74,9 \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{\text{Rd}} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M} = \frac{240 \text{N/mm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 126 \text{N/mm}^2$$

$$\frac{\tau_{\text{max}}}{\tau_{\text{Rd}}} = \frac{74,9 \text{N/mm}^2}{126 \text{N/mm}^2} = 0,59 < 1$$

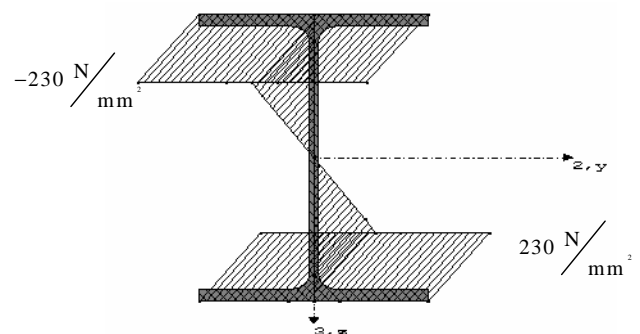
$\Rightarrow$  Nachweis erfüllt (elastisch)



3.8.2.3 Überprüfung der  $b/t$  - Verhältnisse für das Verfahren elastisch – plastisch

$$\psi = \frac{-230 \text{N/mm}^2}{230 \text{N/mm}^2} = -1$$

- reine Biegebeanspruchung



Gleichmäßig verteilte Zug- und Druckspannung  $\Rightarrow \alpha = 0,5$

Steg:

$$\text{grenz}\left(\frac{b}{t}\right) = \frac{37}{\alpha} \sqrt{\frac{240}{f_{y,k}}} = \frac{37}{0,5} \sqrt{\frac{240}{240}} = 74$$

$$\text{vorh}\left(\frac{b}{t}\right) = \frac{h_l}{s} = \frac{486\text{mm}}{13\text{mm}} = 37,4 < \text{grenz}\left(\frac{b}{t}\right) = 74$$

=> kein Beulnachweis nach DIN 18800 T.3 (11.90) notwendig

Gurt:

Druckspannung gleich =>  $\alpha = 1$

$$\text{grenz}\left(\frac{b}{t}\right) = \frac{11}{\alpha} \sqrt{\frac{240}{f_{y,k}}} = \frac{11}{1} \sqrt{\frac{240}{240}} = 11$$

$$b = \frac{300\text{mm} - 13\text{mm} - 2 \cdot 27\text{mm}}{2} = 116,5\text{mm} ; t = 25\text{mm}$$

$$\text{vorh}\left(\frac{b}{t}\right) = \frac{116,5\text{mm}}{25\text{mm}} = 4,66 < \text{grenz}\left(\frac{b}{t}\right) = 11$$

=> kein Beulnachweis nach DIN 18800 T.3 (11.90) notwendig

- Biegedrillknicknachweis

- kann entfallen, da der Träger seitlich gehalten ist

### 3.8.3 Nachweis nach Eurocode 3 (EN 1993-1-1:2005 (D))

- Einwirkungen und Schnittgrößen

$$q_d = 137,5 \text{ kN/m}$$

$$N = 0$$

$$\max V_{z,Ed} = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{137,5 \text{ kN/m} \cdot 8 \text{ m}}{2} = 550 \text{ kN}$$

$$\max M_{y,Ed} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{137,5 \text{ kN/m} \cdot (8 \text{ m})^2}{8} = 1100 \text{ kNm}$$

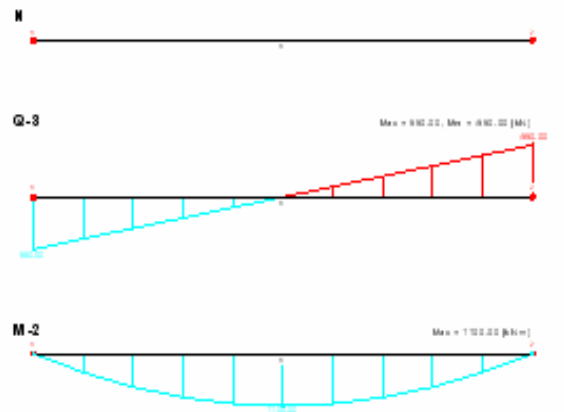


Abbildung 30: Schnittkräfte

#### 3.8.3.1 Querschnittswerte HEA 600 nach DIN 1025, T.5

$$h = 590 \text{ mm}, b = 300 \text{ mm}, s = 13 \text{ mm}, t = 25 \text{ mm}, r = 27 \text{ mm}$$

$$A = 226 \text{ cm}^2, W_y = 4790 \text{ cm}^3, S_y = 2680 \text{ cm}^3, \alpha_{pl,y} = 1,12$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

$$A_v = 226 \text{ cm}^2 - 2 \cdot 30 \text{ cm} \cdot 2,5 \text{ cm} + (1,3 \text{ cm} + 2 \cdot 2,7 \text{ cm}) \cdot 1,3 \text{ cm} = 84,71 \text{ cm}^2$$

$$W_{y,pl} = 5350 \text{ cm}^2$$

#### 3.8.3.2 Querschnittsklassifizierung nach EN 1993-1-1:2005 (D), Tabelle 5.2

$$\text{Steg: } c = h_1 = 486 \text{ mm}; t = 13 \text{ mm}$$

$$\text{vorh} \left( \frac{c}{t} \right) = \frac{486 \text{ mm}}{13 \text{ mm}} = 37,4 < \text{grenz} \left( \frac{c}{t} \right) = 72 \cdot \epsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,3$$

=> Querschnittsklasse 1

Gurt:

$$c = \frac{300\text{mm} - 13\text{mm} - 2 \cdot 27\text{mm}}{2} = 116,5\text{mm}; t = 25\text{mm}$$

$$\text{vorh}\left(\frac{c}{t}\right) = \frac{116,5\text{mm}}{25\text{mm}} = 4,66 < \text{grenz}\left(\frac{c}{t}\right) = 9 \cdot \epsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,3$$

=> Querschnittsklasse 1

Der gesamte Querschnitt kann in Querschnittsklasse 1 eingestuft werden.

### 3.8.3.3 Tragfähigkeitsnachweis für einachsige Biegung und Querkraft nach EN 1993-1-1:2005 (D), 6.2.8

- Querkrafttragfähigkeit

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{84,71\text{cm}^2 \cdot \frac{23,5\text{kN/cm}^2}{\sqrt{3}}}{1,00} = 1149,3\text{kN}$$

$$V_{z,Ed} = 550\text{kN} < V_{c,Rd} = 1149,3\text{kN} \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Überprüfung auf Schubbeulen nach EN 1993-1-1:2005 (D):

$$\text{vorh}\left(\frac{c}{t}\right) = 37,4 < 72 \cdot 1,00 = 72 \quad (\text{kein Schubbeulnachweis nötig})$$

- Momententragfähigkeit:

$$W_{pl,y} = 5350\text{cm}^3$$

$$M_{y,c,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5350\text{cm}^3 \cdot 23,5\text{kN/cm}^2}{1,00} = 125725\text{kNcm} = 1257,25\text{kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 1100\text{kNm} < M_{y,c,Rd} = 1257,25\text{kNm}$$

Der Druckgurt ist gegen seitliches Ausweichen gehalten.

=> Nachweis erfüllt

Ausnutzung:

$$\frac{\max M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}} = \frac{1100\text{kNm}}{1257,25\text{kNm}} = 0,88 < 1$$

Der Träger ist zu 88 % belastet.

### **3.8.4 Auswertung (Beispiel 8)**

Nach DIN 18800 ist der HEA600 im Verfahren elastisch-elastisch zu 5 % überlastet, somit mussten die plastischen Querschnittsreserven genutzt werden.

Trotz der plastischen Nachweisführung auch nach DIN ergaben sich unterschiedliche Ergebnisse im Nachweisverfahren der beiden Normen.

Laut DIN ist der Träger zu 94 %, gemäß Eurocode aber nur zu 88 % ausgelastet.

Dieser Unterschied von 6 % ist auf den Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{M0}$  von 1,00 des Eurocodes gegenüber  $\gamma_M$  von 1,1 der DIN zurückzuführen.

Es kann laut DIN zwar eine größere Streckgrenze von  $240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$  statt  $235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$  angesetzt werden, dies macht aber der größere Sicherheitsbeiwert wett.

## **4 Auf Biegung und Druck beanspruchte gleichförmige Bauteile**

### **4.1 Einleitung**

Es wird in diesem Abschnitt eine Pendelstütze mit einer mittig einwirkenden Druckkraft und einer auf die starke Achse wirkenden Linienlast nach DIN 18800 und Eurocode 3 untersucht. Dabei wurde ein „verdrehweicher“, gleich bleibender Querschnitt der Querschnittsklasse 1 verwendet.

Durch die Druckbelastung und die Biegung um die starke Achse sind die Stabilitätsnachweise Biegeknicken um die schwache Achse und Biegedrillknicken zu führen. Sie basieren auf dem Modell eines gabelgelagerten Einfeldträgers.

Auf den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit wird in dem folgendem Beispiel verzichtet. Er ist bei Bedarf nach den allgemeinen Regeln der Technik durchzuführen.

Die Interaktionsbeiwerte nach Eurocode 3 wurden auf verschiedenen Wegen abgeleitet, in dieser Betrachtung wurde das Verfahren nach Anhang B verwendet.

## 4.2 Ausgewählte Unterschiede zwischen DIN 18800 und Eurocode 3

	DIN	EC 3
Knicklänge	$s_k$	$L_{cr}$
Sicherheitsbeiwert	$\gamma_M = 1,1$	$\gamma_{M1} = 1,00$
Angriffspunkt der Querlast	$z_p$	$z_a$
Bezugsschlankheitsgrad für Biegeknicken	$\bar{\lambda}_K = \sqrt{\frac{N_{pl}}{N_{Ki}}} = \frac{s_k}{i}$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$
Bezugsschlankheitsgrad für Biegedrillknicken	$\bar{\lambda}_M$	$\bar{\lambda}_{LT}$
Bezugsschlankheitsgrad in Abhängigkeit der Stahlgüte	$\lambda_a = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{y,k}}}$	$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \cdot \epsilon$
Abminderungsbeiwerte für Biegeknicken	$\kappa$	$\chi_y \chi_z$
Abminderungsbeiwerte für Biegedrillknicken	$\kappa_M$	$\chi_{LT}$
Momentenformbeiwerte	$\beta_M, \beta_m, \zeta$	$C_{mz}, C_{my}, C_{mLt}$
Interaktionsfaktoren	$k_z, k_y$	$k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}$
Imperfektionsbeiwert der Knicklinien für das BDK	$\alpha$	$\alpha_{LT}$
Eulerknicklast	$N_{Ki,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{s_{k,z}^2}$	$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2}$
ideales Biegedrillknickmoment	$M_{Ki}$	$M_{cr}$
Trägheitsradius	$i$	$i$
Trägerbeiwert	$n$	nicht vorhanden



## 4.3 Beispiel 9 – Stütze unter Normalkraft und Biegung

### 4.3.1 Problemstellung und Schnittgrößen

Im folgenden Beispiel wird eine 6m lange Pendelstütze mit einer mittig angreifenden Normalkraft von 1700kN und einer auf die starke Achse wirkenden Linienlast von  $10 \text{ kN/m}$  nachgewiesen.

Der Stützenkopf und -fuß darf als Gabellager angenommen werden und zwischen den Auflagern ist die Stütze nicht gegen Verdrehen gehalten.

Der Querschnitt der Stütze ist ein IPB (HEB) 300 nach DIN 1025 Teil 2 aus S235 (St37).

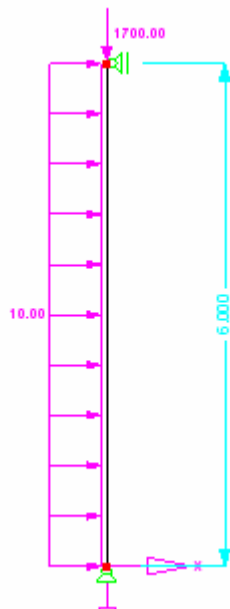


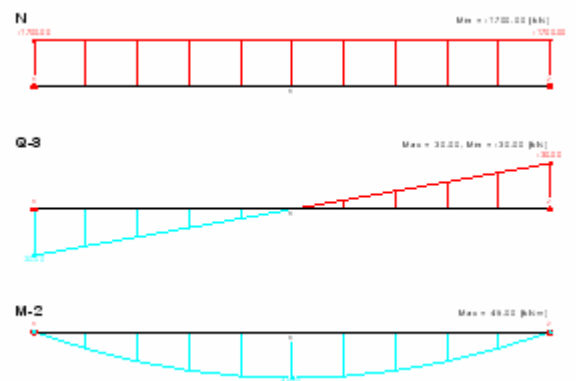
Abbildung 31: Stützensystem mit Schnittkräften

- Einwirkungen und Schnittgrößen

$$\max N = -1700 \text{ kN}$$

$$\max V_z = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{10 \text{ kN/m} \cdot 6 \text{ m}}{2} = 30 \text{ kN}$$

$$\max M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{10 \text{ kN/m} \cdot (6 \text{ m})^2}{8} = 45 \text{ kNm}$$



### 4.3.2 Nachweis nach DIN 18800 (11.90)

#### 4.3.2.1 Querschnittswerte und Spannungsnachweis

$$h = 300\text{mm}, b = 300\text{mm}, s = 11\text{mm}, t = 19\text{mm}, r = 27\text{mm}$$

$$A = 149\text{cm}^2, I_y = 25170\text{cm}^4, W_y = 1680\text{cm}^3$$

- Normalspannungsnachweis

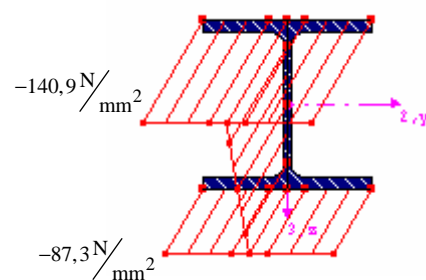
$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{\max M_y}{W_y} \leq \frac{f_{y,k}}{\gamma_M}$$

$$\sigma = \frac{N}{A} - \frac{\max M_y}{W_y} = \frac{-1700 \cdot 10^3 \text{ N}}{14900 \text{ mm}^2} - \frac{45 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{1680 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} = -140,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{\max M_y}{W_y} = \frac{-1700 \cdot 10^3 \text{ N}}{14900 \text{ mm}^2} + \frac{45 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{1680 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} = -87,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\max \sigma}{\sigma_{Rd}} = \frac{-140,9 \text{ N/mm}^2}{\frac{-240 \text{ N/mm}^2}{1,1}} = 0,65 < 1$$

=> Nachweis erfüllt



### Schubspannungsnachweis

$$A_{\text{Steg}} = (300\text{mm} - 2 \cdot 19\text{mm}) \cdot 11\text{mm} = 2882\text{mm}^2$$

$$\frac{A_{\text{Gurt}}}{A_{\text{Steg}}} = \frac{19\text{mm} \cdot 300\text{mm}}{2882\text{mm}^2} = 1,98 > 0,6$$

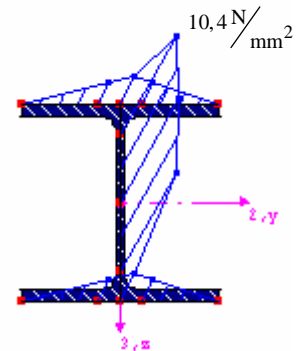
=> vereinfachter Schubspannungsnachweis

$$\tau = \frac{\max V_z}{A_{\text{Steg}}} = \frac{30 \cdot 10^3 \text{N}}{2882\text{mm}^2} = 10,4 \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{\text{Rd}} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M} = \frac{240 \text{N/mm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 126 \text{N/mm}^2$$

$$\frac{\tau}{\tau_{\text{Rd}}} = \frac{10,4 \text{N/mm}^2}{126 \text{N/mm}^2} = 0,08 < 1$$

$$\frac{\tau}{\tau_{\text{Rd}}} = \frac{10,4 \text{N/mm}^2}{126 \text{N/mm}^2} = 0,08 < 0,5 \quad \Rightarrow \text{kein Vergleichsspannungsnachweis nötig}$$



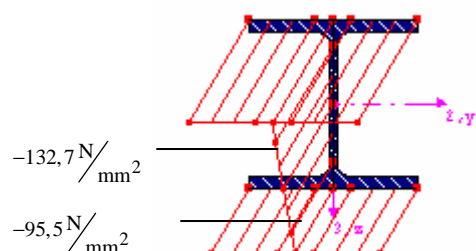
### 4.3.2.2 Überprüfung der $b/t$ – Verhältnisse

#### Steg

$$\sigma = \frac{N}{A} - \frac{\max M_y}{I_y} \cdot z = \frac{-1700 \cdot 10^3 \text{N}}{14900\text{mm}^2} - \frac{45 \cdot 10^6 \text{Nmm}}{25170 \cdot 10^4 \text{mm}^3} \cdot \frac{208}{2} = -132,7 \text{N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{N}{A} - \frac{\max M_y}{I_y} \cdot z = \frac{-1700 \cdot 10^3 \text{N}}{14900\text{mm}^2} + \frac{45 \cdot 10^6 \text{Nmm}}{25170 \cdot 10^4 \text{mm}^3} \cdot \frac{208}{2} = -95,5 \text{N/mm}^2$$

$$\psi = \frac{-95,5 \text{N/mm}^2}{-132,7 \text{N/mm}^2} = 0,72$$



$$\text{grenz}\left(\frac{b}{t}\right) = 420,4 \cdot (1 - 0,278 \cdot \psi - 0,025 \cdot \psi^2) \cdot \sqrt{\frac{k_{\sigma}}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$$

$$k_{\sigma} = \frac{8,2}{\psi + 1,05} = \frac{8,2}{0,72 + 1,05} = 4,63$$

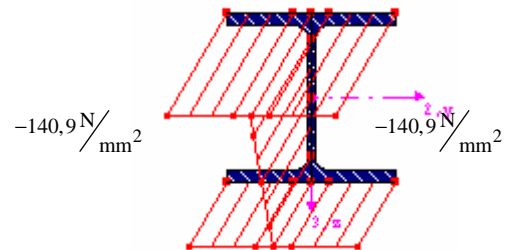
$$\text{grenz}\left(\frac{b}{t}\right) = 420,4 \cdot (1 - 0,278 \cdot 0,72 - 0,025 \cdot 0,72^2) \cdot \sqrt{\frac{4,63}{132,7 \cdot 1,1}} = 58,91$$

$$\text{vorh}\left(\frac{b}{t}\right) = \frac{208\text{mm}}{11\text{mm}} = 18,9 < \text{grenz}\left(\frac{b}{t}\right) = 58,91$$

=> kein Beulnachweis nach DIN 18800 T.3 (11.90) notwendig

Gurt

$$\psi = \frac{-140,9 \text{ N/mm}^2}{-140,9 \text{ N/mm}^2} = 1$$



Druckspannung gleich

$$\text{grenz}\left(\frac{b}{t}\right) = 12,9 \sqrt{\frac{240 \text{ N/mm}^2}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}} = 12,9 \sqrt{\frac{240 \text{ N/mm}^2}{140,9 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,1}} = 16,05$$

$$b = \frac{300\text{mm} - 11\text{mm} - 2 \cdot 27\text{mm}}{2} = 117,5\text{mm} ; t = 19\text{mm}$$

$$\text{vorh}\left(\frac{b}{t}\right) = \frac{117,5\text{mm}}{19\text{mm}} = 6,18 < \text{grenz}\left(\frac{b}{t}\right) = 16,05$$

=> kein Beulnachweis nach DIN 18800 T.3 (11.90) notwendig

4.3.2.3 Biegeknicknachweis unter Normalkraft und Biegemoment nach  
DIN 18800 Teil 2, 3.4.2.2

$$\frac{N}{\kappa \cdot N_{pl,d}} + \frac{\beta_m \cdot M}{M_{pl,d}} + \Delta n \leq 1$$

$$s_k = \beta \cdot l = 1,0 \cdot 6,0\text{m} = 6,0\text{m}$$

$$\lambda_k = \frac{s_k}{i_y} = \frac{600\text{cm}}{13\text{cm}} = 46,15$$

$$\bar{\lambda}_k = \frac{\lambda_k}{\lambda_a} = \frac{46,15}{92,9} = 0,5$$

$$\frac{h}{b} = \frac{300\text{mm}}{300\text{mm}} = 1,0 < 1,2, \quad t = 19\text{mm} < 80\text{mm} \quad \Rightarrow \text{KSL m y: b}$$

$$\kappa = 0,885$$

$$N_{pl,d} = 3250\text{kN}$$



$$\Rightarrow \beta_m = 1,0$$

$$M_{pl,y,d} = 418\text{kNm}$$

$$\Delta n = \frac{N}{\kappa \cdot N_{pl,d}} \cdot \left(1 - \frac{N}{\kappa \cdot N_{pl,d}}\right) \cdot \kappa^2 \cdot \bar{\lambda}_k^{-2} = \frac{1700\text{kN}}{0,885 \cdot 3250\text{kN}} \cdot \left(1 - \frac{1700\text{kN}}{0,885 \cdot 3250\text{kN}}\right) \cdot 0,885^2 \cdot 0,5^2 = 0,047 < 0,1$$

$$\frac{1700\text{kN}}{0,885 \cdot 3250\text{kN}} + \frac{1,0 \cdot 418\text{kNm}}{418\text{kNm}} + 0,047 = 0,75 < 1$$

Nachweis erfüllt

4.3.2.4 Biegedrillknicknachweis unter Normalkraft und Biegemoment nach  
DIN 18800 Teil 2, 3.4.3

$$\frac{N_d}{\kappa_z \cdot N_{pl,d}} + \frac{M_y}{\kappa_M \cdot M_{pl,y,d}} \cdot k_y \leq 1$$

$$s_{k,z} = \beta_z \cdot l = 1,0 \cdot 6,0\text{m} = 6,0\text{m}$$

$$N_{Ki,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{s_{K,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \text{ kN/cm}^2 \cdot 8560 \text{ cm}^4}{(600 \text{ cm})^2} = 4928 \text{ kN}$$

Abminderungsfaktor  $\kappa_z$ :

$$\lambda_k = \frac{s_{k,z}}{i_z} = \frac{600 \text{ cm}}{7,58 \text{ cm}} = 79,16$$

$$\overline{\lambda}_{k,z} = \frac{\lambda_k}{\lambda_a} = \frac{79,16}{92,9} = 0,85$$

$$\frac{h}{b} = \frac{300 \text{ mm}}{300 \text{ mm}} = 1,0 < 1,2, \quad t = 19 \text{ mm} < 80 \text{ mm} \quad \Rightarrow \text{KSL um z: c}$$

$$\kappa_z = 0,63$$

ideales Biegedrillknickmoment:

$$M_{Ki,y} = \zeta \cdot N_{Ki,z} \cdot \left( \sqrt{c^2 + 0,25 \cdot z_p^2} + 0,5 \cdot z_p \right)$$

$$z_p = \frac{h}{2} = \frac{30 \text{ cm}}{2} = 15 \text{ cm}$$

$$c^2 = \frac{I_\omega + 0,039 \cdot l^2 \cdot I_T}{I_z} = \frac{1688000 \text{ cm}^6 + 0,039 \cdot (600 \text{ cm})^2 \cdot 185 \text{ cm}^4}{8560 \text{ cm}^4} = 500,6 \text{ cm}^2$$



$$\Rightarrow \zeta = 1,12$$

$$\Rightarrow \beta_{m,y} = 1,3$$

$$M_{Ki,y} = 1,12 \cdot 4928 \text{ kN} \cdot \left( \sqrt{500,6 \text{ cm}^2 + 0,25 \cdot (-15 \text{ cm})^2} + 0,5 \cdot -15 \text{ cm} \right) = 88849 \text{ kNcm} = 888,49 \text{ kNm}$$

Abminderungsfaktor  $\kappa_M$  :

$$\overline{\lambda}_m = \sqrt{\frac{M_{pl,y}}{M_{Ki}}} = \sqrt{\frac{459,8 \text{ kNm}}{888,49 \text{ kNm}}} = 0,72 > 0,4$$

gewalzter Träger:  $n = 2,5$

$$\Rightarrow \kappa_M = \left[ \frac{1}{\left(1 + \overline{\lambda}_M^{2 \cdot n}\right)} \right]^{1/n} = \left[ \frac{1}{\left(1 + 0,72^{2 \cdot 2,5}\right)} \right]^{1/2,5} = 0,93$$

Beiwert  $k_y$  zu Berücksichtigung des Momentenverlaufs  $M_y$  :

$$k_y = 1 - \frac{N}{\kappa_z \cdot N_{pl,d}} \cdot a_y \leq 1$$

$$a_y = 0,15 \cdot \overline{\lambda}_{k,z} \cdot \beta_{M,y} - 0,15 = 0,15 \cdot 0,85 \cdot 1,3 - 0,15 = 0,01575 < 0,9$$

$$k_y = 1 - \frac{1700 \text{ kN}}{0,63 \cdot 3250 \text{ kN}} \cdot 0,01575 = 0,99 < 1$$

Nachweis:

$$\frac{1700 \text{ kN}}{0,63 \cdot 3250 \text{ kN}} + \frac{45 \text{ kNm}}{0,93 \cdot 418} \cdot 0,99 = 0,95 < 1$$

$\Rightarrow$  Nachweis erfüllt

### 4.3.3 Nachweis nach Eurocode 3

- Einwirkungen und Schnittgrößen

$$\max N = -1700 \text{ kN}$$

$$\max V_z = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{10 \text{ kN/m} \cdot 6 \text{ m}}{2} = 30 \text{ kN}$$

$$\max M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{10 \text{ kN/m} \cdot (6 \text{ m})^2}{8} = 45 \text{ kNm}$$

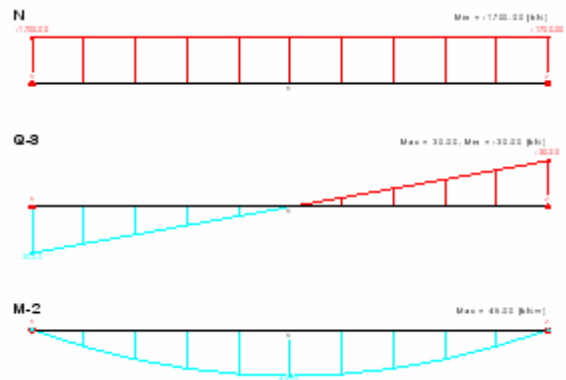


Abbildung 32: Schnittkräfte

#### 4.3.3.1 Querschnittswerte IPB (HEB) 300 DIN 1025 Teil 2:

$$h = 300 \text{ mm}, b = 300 \text{ mm}, s = 11 \text{ mm}, t = 19 \text{ mm}, r = 27 \text{ mm}$$

$$A = 149 \text{ cm}^2, I_y = 25170 \text{ cm}^4, W_y = 1680 \text{ cm}^3$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

$$A_v = 149 \text{ cm}^2 - 2 \cdot 30 \text{ cm} \cdot 1,9 \text{ cm} + (1,1 \text{ cm} + 2 \cdot 2,7 \text{ cm}) \cdot 1,9 \text{ cm} = 47,35 \text{ cm}^2$$



#### 4.3.3.2 Querschnittsklassifizierung nach EN 1993-1-1:2005 (D), Tabelle 5.2

Steg:  $c = h_1 = 208\text{mm}$ ;  $t = 11\text{mm}$

$$\text{vorh}\left(\frac{c}{t}\right) = \frac{208\text{mm}}{11\text{mm}} = 18,91 < \text{grenz}\left(\frac{c}{t}\right) = 72 \cdot \epsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,3$$

=> Querschnittsklasse 1

Gurt:  $c = \frac{300\text{mm} - 11\text{mm} - 2 \cdot 27\text{mm}}{2} = 117,5\text{mm}$ ;  $t = 19\text{mm}$

$$\text{vorh}\left(\frac{c}{t}\right) = \frac{117,5\text{mm}}{19\text{mm}} = 6,18 < \text{grenz}\left(\frac{c}{t}\right) = 9 \cdot \epsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,3$$

=> Querschnittsklasse 1

Der gesamte Querschnitt kann in Querschnittsklasse 1 eingestuft werden.

#### 4.3.3.3 Tragfähigkeitsnachweis für Normalkraft nach DIN EN 1993-1-1 **6.2.4**

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{149\text{cm}^2 \cdot 23,5\text{kN/cm}^2}{1,00} = 3501,5\text{kN}$$

$$\frac{1700\text{kN}}{3501,5} = 0,49 < 1,0$$

=> Nachweis erfüllt

#### 4.3.3.4 Tragfähigkeitsnachweis für einachsige Biegung und Normalkraft nach DIN EN 1993-1-1 6.2.9

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd}$$

Berücksichtigung der Normalkraft wenn:

$$N_{Ed} \geq 0,25 \cdot N_{pl,Rd}$$

$$N_{Ed} = 1700 \text{ kN} > 0,25 \cdot 3250 \text{ kN} = 812,5 \text{ kN}$$

und

$$N_{Ed} \geq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{Ed} = 1700 \text{ kN} > \frac{0,5 \cdot 20,8 \text{ cm} \cdot 1,1 \text{ cm} \cdot 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,00} = 268,84 \text{ kN}$$

=> Berücksichtigung der Normalkraft

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{(1-n)}{(1-0,5 \cdot a)}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{1700 \text{ kN}}{3250 \text{ kN}} = 0,52$$

$$a = \frac{(A - 2 \cdot b \cdot t_f)}{A} = \frac{(149 \text{ cm}^2 - 2 \cdot 30 \text{ cm} \cdot 1,9 \text{ cm})}{149 \text{ cm}^2} = 0,24 < 0,5$$

$$M_{N,y,Rd} = 418 \text{ kNm} \cdot \frac{(1-0,52)}{(1-0,5 \cdot 0,24)} = 228 \text{ kNm}$$

$$\frac{\max M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} = \frac{45 \text{ kNm}}{228 \text{ kNm}} = 0,2 < 1$$

=> Nachweis erfüllt

#### 4.3.3.5 Tragfähigkeitsnachweis Querkraftbeanspruchung nach DIN EN 1993-1-1 6.2.6

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{47,35 \text{ cm}^2 \cdot \frac{23,5 \text{ kN/cm}^2}{\sqrt{3}}}{1,00} = 642,4 \text{ kN}$$

$$\frac{\max V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{30 \text{ kN}}{642,4 \text{ kN}} = 0,05 < 1$$

=> Nachweis erfüllt

$$\text{vorh} \left( \frac{c}{t} \right) = 18,91 < 72 \cdot 1,00 = 72 \quad (\text{kein Schubbeulnachweis nötig})$$

#### 4.3.3.6 Nachweis unter Normalkraft und Biegemoment nach EN 1993-1-1:2005, 6.3.3

Durch Biegung und Druck beanspruchte Bauteile müssen in der Regel folgende Anforderungen erfüllen:

#### 4.3.3.7 Nachweis gegen Biegeknicken

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

#### 4.3.3.8 Nachweis gegen Biegedrillknicken:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

und

#### 4.3.3.7 Nachweis gegen Biegeknicken um die schwache Achse:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

Die Knicklänge beträgt  $L_{cr} = 6,0\text{m}$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1,0$$

nach EN 1993-1-1, 6.3.1.2

$$\Phi = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \text{ kN/cm}^2 \cdot 8560 \text{ cm}^4}{(600 \text{ cm})^2} = 4928 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{149 \text{ cm}^2 \cdot 23,5 \text{ kN/cm}^2}{4928 \text{ kN}}} = 0,84$$

Knicklinie nach Tabelle 6.2

$$\frac{h}{b} = \frac{300\text{mm}}{300\text{mm}} = 1 < 1,2 ; t_f = 19\text{mm} < 100\text{mm}$$

Ausweichen rechtwinklig zur z-Achse: KSL: c

$$\Rightarrow \text{Imperfektionsbeiwert } \alpha = 0,49 \quad \text{Tab. 6.1}$$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,84 - 0,2) + 0,84^2] = 1,01$$

$$\chi_z = \frac{1}{1,01 + \sqrt{1,01^2 - 0,84^2}} = 0,64 < 1,0 \quad \Rightarrow \chi_z = 0,64$$

Interaktionsfaktor nach Anhang B, Tab. B1

Für I- und H-Querschnitte und rechteckige Hohlquerschnitte, die auf Druck und einachsige Biegung  $M_{y,Ed}$  belastet sind, darf der Beiwert  $k_{zy} = 0$  angenommen werden.

$$\Rightarrow \text{Nachweis nur noch } \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 149\text{cm}^2 \cdot 23,5\text{kN/cm}^2 = 3501,5\text{kN}$$

Nachweis:

$$\frac{\frac{1700\text{kN}}{0,64 \cdot 3501,5\text{kN}}}{1,0} = 0,76 < 1$$

$\Rightarrow$  Nachweis erfüllt

#### 4.3.3.8 Nachweis gegen Biegedrillknicken:

Die Kicklänge beträgt  $L_{cr} = 6,0\text{m}$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1,0 \quad \text{nach EN 1993-1-1, 6.3.1.2}$$

$$\Phi = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \text{ kN/cm}^2 \cdot 25170 \text{ cm}^4}{(600 \text{ cm})^2} = 14491 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{149 \text{ cm}^2 \cdot 23,5 \text{ kN/cm}^2}{14491 \text{ kN}}} = 0,49$$

Knicklinie nach Tabelle 6.2

$$\frac{h}{b} = \frac{300 \text{ mm}}{300 \text{ mm}} = 1 < 1,2 ; t_f = 19 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

Ausweichen rechtwinklig zur y-Achse: KSL: b

=> Imperfektionsbeiwert  $\alpha = 0,34$  Tab. 6.1

$$\Phi = 0,5 \cdot \left[ 1 + 0,34 \cdot (0,49 - 0,2) + 0,49^2 \right] = 0,67$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,67 + \sqrt{0,67^2 - 0,49^2}} = 0,89 < 1,0$$

Interaktionsfaktor nach Anhang B, Tab. B1

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{my} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

Äquivalenter Momentenbeiwert  $C_{my}$  nach Tabelle B.3:

$$a_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{0}{45 \text{ kNm}} = 0$$

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot a_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0 = 0,95$$

$$\bar{\lambda}_y = 0,49$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 149 \text{ cm}^2 \cdot 23,5 \text{ kN/cm}^2 = 3501,5 \text{ kN}$$

$$k_{yy} = 0,95 \cdot \left( 1 + (0,49 - 0,2) \cdot \frac{1700 \text{ kN}}{0,89 \cdot 3501,5 \text{ kN} / 1,0} \right) = 0,67$$

$$k_{yy, \max} = 0,95 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{1700 \text{ kN}}{0,89 \cdot 3501,5 \text{ kN} / 1,0} \right) = 1,36$$

$$0,67 < 1,36$$

EN 1993-1-1:2005, 6.3.2.3:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

EN 1993-1-1:2005 Tabelle 6.5:

$$\frac{h}{b} = \frac{300 \text{ mm}}{300 \text{ mm}} = 1,0 < 2, \Rightarrow \text{Biegedrillknicklinie b}$$

EN 1993-1-1:2005 Tabelle 6.3:

$$\alpha_{LT} = 0,34$$

$$\beta = 0,75$$

$$\bar{\lambda}_{LT0} = 0,4$$

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)^2} \cdot \left( \sqrt{\left( \frac{k}{k_w} \right) \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} + (C_2 \cdot z_g)^2 - C_2 \cdot z_g \right)$$

$C_1$  aus „Tragwerke aus Stahl nach EC 3“ Seite 89 Tabelle F.1.2

gelenkig gelagert  $\Rightarrow k = 1,0$  und  $k_w = 1,0$

$$\Rightarrow C_1 = 1,132$$

$$\Rightarrow C_2 = 0,459$$

$$z_g = z_a - z_s = 15 \text{ cm} - 0 \text{ cm}$$

$$M_{cr} = 1,132 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \text{ kN/cm}^2 \cdot 8560 \text{ cm}^4}{(1,0 \cdot 600 \text{ cm})^2}$$

$$\cdot \left( \sqrt{\left( \frac{1,0}{1,0} \right) \cdot \frac{1688000 \text{ cm}^6}{8560 \text{ cm}^4} + \frac{(1,0 \cdot 600 \text{ cm})^2 \cdot 8100 \text{ kN/cm}^2 \cdot 185 \text{ cm}^4}{\pi^2 \cdot 21000 \text{ kN/cm}^2 \cdot 8560 \text{ cm}^4} + (0,459 \cdot 15 \text{ cm})^2 - 0,459 \cdot 15 \text{ cm}} \right)$$

$$M_{cr} = 92265 \text{ kNcm} = 922,65 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1869 \text{ cm}^3 \cdot 23,5 \text{ kN/cm}^2}{92265 \text{ kNcm}}} = 0,69$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[ 1 + 0,34 \cdot (0,69 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,69^2 \right] = 0,73$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,73 + \sqrt{0,73^2 - 0,75 \cdot 0,73^2}} = 0,91 < 1$$

$$< \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,69} = 1,45$$

EN 1993-1-1:2005 (D), Tab. 6.7

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot W_{pl,y} = 23,5 \text{ kN/cm}^2 \cdot 1869 \text{ cm}^3 = 43922 \text{ kNcm} = 439,22 \text{ kNm}$$

Nachweis:

- mit Knicken um die starke Achse:

$$\frac{1700 \text{ kN}}{1,0} + 0,67 \cdot \frac{45 \text{ kNm}}{0,91 \cdot \frac{439,22 \text{ kNm}}{1,0}} = 0,62 < 1$$

- mit Knicken um die schwache Achse:

$$\frac{1700 \text{ kN}}{1,0} + 0,67 \cdot \frac{45 \text{ kNm}}{0,91 \cdot \frac{439,22 \text{ kNm}}{1,0}} = 0,84 < 1$$

=> Nachweise erfüllt



#### 4.3.4 Auswertung (Beispiel 9)

Die maßgebenden Nachweise für das Biegeknicken um die schwache Achse ergeben nach DIN 18800 eine Ausnutzung von 75 % und nach EC3 von 76 %. Nach Eurocode kann bei diesem Nachweis der Einfluss der Biegebeanspruchung vernachlässigt werden, trotz dessen ist der Träger um 1 % höher auf Biegeknicken belastet. Der Eurocode macht das Vernachlässigen des Biegemomentes mit dem geringeren Abminderungsbeiwert  $\chi_z$  von 0,64 gegenüber  $\kappa$  von 0,885 nach DIN wett.

Beim Nachweis gegen Biegedrillknicken hingegen ist die Stütze nach Eurocode nur zu 84 % gegenüber 95 % nach DIN ausgelastet. Dies liegt hauptsächlich an den im Eurocode eingesetzten plastischen Widerstandswerten, den geringeren Teilsicherheitsbeiwerten und dem geringeren Interaktionsfaktor von 0,67 nach EC3 zu 0,99 nach DIN 18800.

Somit kann nach diesem Beispiel die Pendelstütze mit den angegebenen Belastungen und unter Beachtung der maßgebenden Nachweise nach Eurocode 3 eine um 11 % höhere Belastung aufnehmen.

## **Zusammenfassung**

Es lässt sich anhand der gerechneten Beispiele dieser Diplomarbeit sagen, dass die Ausnutzung der Querschnittsklassen 1 und 2 nach Eurocode 3 um 10 % bis 17% höher angesetzt werden kann. Dabei wurde die Gebrauchstauglichkeit allerdings nicht berücksichtigt.

Die Nachweisführung der beiden Normen war in manchen Fällen gleich, unterschieden sich aber in den meisten Berechnungen.

Dabei gab es Unterschiede in den konstruktiven Ausbildungen, wie die Rand- und Lochabstände der Schraubenanschlüsse oder die Grenzwerte der Kehlnahtdicke.

Im Bereich der Trägernachweise wurde auf Belastungsseite nach EC 3 nur ein Sicherheitsbeiwert von 1,0 statt nach DIN von 1,1 verwendet. In den Bemessungen der Anschlüsse, ob geschraubt oder geschweißt, wurde jedoch nach EC 3 ein Sicherheitsbeiwert von 1,25 statt 1,1 nach DIN verwendet. Trotz dieser unterschiedlichen Beiwerte kam es in manchen Fällen durch die unterschiedlichen Berechnungsformeln zu ähnlichen Ergebnissen. Meist jedoch waren in den Querschnitten bei der Berechnung nach EC 3 größere Reserven vorhanden. Die Sicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungsseite hingegen sind für ungünstig wirkende Belastungen gleich geblieben.

Bei der Berechnung der wirksamen Schubfläche gewalzter I-Profile kam nach Eurocode 3 ein genaueres Verfahren zur Anwendung und es wurde somit eine größere Schubfläche als nach DIN 18800 erreicht.

Zum besseren Verständnis wurde in den Berechnungsabläufen der entsprechende Normenabsatz hinzugefügt.

Die ausgewählten Beispiele in dieser Diplomarbeit spiegeln nur einen Bruchteil der in der Praxis gängigen Anwendung wieder, sollen aber trotzdem einen Einblick Neuerungen und Nachweisverfahren des Eurocode 3 geben.

## Literaturverzeichnis

- DIN 18800 Teil 1 bis 7 (11.90). Stahlbauten [1]
- DIN EN 1993-1 Teil 1 bis 8. Eurocode 3 [2]
- DIN EN 10025 Teil 1 bis 5. Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen [3]
- DIN 1055. Lastannahmen [4]
- DIN 7990 Sechskantschrauben [5]
- DIN Fachbericht 103 – Stahlbrücken [6]
- Schneider, Klaus-Jürgen: Bautabellen für Ingenieure – 16. Auflage – Minden: Werner Verlag, 2004 (1) [7]
- Werner, Frank: Stahlbaunachweise im Normenvergleich – 1. Auflage – Weimar: Bauverlag Beuth 1991 [8]
- DAST: Eurocode 3 – Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Köln: Bauverlag Beuth 1999 [9]
- Hünersen/Fritsche: Stahlbau in Beispielen – 4. Auflage – Düsseldorf: Werner Verlag, 1998 [10]
- Piechatzek, Erwin: Einführung in den Eurocode 3 – Köln: Vieweg Verlag, 2002 [11]
- Schneider, Klaus-Jürgen: Tragwerke aus Stahl nach Eurocode 3 – 1. Auflage – Solingen und Minden: Werner Verlag 1996 [12]
- Petersen Christian: Stahlbau – Grundlagen – 3. Auflage – Braunschweig: Vieweg Verlag, 1992 [13]
- Ordner zu Workshop EC 3 – Rossweiner Stahl- und Metallbautag [14]
- Vorlesungsunterlagen und Skripte [15]
- 1. Oberegge, Otto, 2. Hockelmann, Hans-Peter: VIII Stahlbau nach DIN V ENV 1993-1-1 (EC 3)  
link: [www.tu-cottbus.de/stahlbau/lehre/stahlbau/wirtschaft\\_stahl/EC3.pdf](http://www.tu-cottbus.de/stahlbau/lehre/stahlbau/wirtschaft_stahl/EC3.pdf) [16]

## **Selbstständigkeitserklärung**

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

---

Bearbeitungsort, Datum

---

Unterschrift